

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра водогосподарської екології, гідрології та гідравліки

01-05-127М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни
«ІНЖЕНЕРНА ГІДРОЛОГІЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ СТОКУ»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології» спеціальності 194
«Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІВГП
Протокол № 2 від 24.09.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни **«Інженерна гідрологія та регулювання стоку»** для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної та заочної форми навчання [Електронне видання] / Холоденко В. С. – Рівне : НУВГП, 2020. – 86 с.

Укладач: Холоденко В.С. , к. геогр. н., доцент кафедри геології та гідрології.

Відповідальний за випуск: Мельничук В. Г., доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри геології та гідрології.

Керівник групи забезпечення спеціальності

Хлапук М. М.

© В. С. Холоденко, 2020
© НУВГП, 2020

Вступ.....	4
1. Вивчення режиму коливання рівнів води. Побудова кривих повторюваності та тривалості стояння рівнів води.....	5
2. Промірні роботи на річках та водоймах. Побудова поперечного перерізу русла річки, епюри швидкостей течії води, елементарних витрат води та визначення морфометричних характеристик русла.....	10
3. Побудова кривих витрат води.....	23
4. Розрахунок норми стоку за наявності та відсутності даних спостереження.....	26
5. Розрахунок норми стоку заданої забезпеченості.....	32
6. Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку методом реального року.....	35
7. Розрахунок максимальних витрат води та об'ємів весняної повені та дощового паводку за відсутності даних спостереження.....	38
8. Побудова розрахункового гідрографа весняної повені або дощового паводка.....	45
9. Побудова топографічних характеристик водосховища.....	51
10. Розрахунок мертвого об'єму водосховища.....	54
11. Розрахунок втрат води із водосховища.....	59
12. Розрахунок сезонного регулювання стоку без врахування втрат води з водосховища.....	62
13. Розрахунок сезонного регулювання стоку з врахуванням втрат води з водосховища.....	67
Додатки.....	71
Питання гарантованого рівня знань.....	83
Рекомендована та базова література.....	85
Допоміжна література.....	85

Вступ

Методичні вказівки призначені для виконання практичних робіт під час вивчення навчальної дисципліни **«Інженерна гідрологія та регулювання стоку»**.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Інженерна гідрологія та регулювання стоку» складені відповідно для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» і охоплюють всі змістові модулі із кількістю академічних годин /кредитів/ – 5.

Навчальна дисципліна «Інженерна гідрологія та регулювання стоку» вивчає фактори та закономірності формування річкового стоку, режим річок, озер, боліт, способи та засоби вимірювання і визначення основних гідрологічних характеристик водотоків та водойм, теоретичні основи і методи інженерно-гідрологічних і водогосподарських розрахунків. Тому, у фахівців даного спрямування є можливість у своїй майбутній практиці виконувати: на основі наявності гідрологічної інформації та нормативних документів за допомогою відповідних методик, ДСТУ визначати основні розрахункові гідрологічні характеристики; складати програму вишукувальних робіт і організовувати проведення гідрометричних та водно-балансових спостережень на водних об'єктах; визначати основні гідрографічні характеристики басейнів водотоків та водойм, використовуючи крупно масштабні карти та плани; знаходити та використовувати необхідну інформацію у виданнях Водного кадастру.

Методичні вказівки покликані допомогти студентам у виконанні практичних робіт з навчальної дисципліни «Інженерна гідрологія та регулювання стоку», вони містять теоретичний матеріал змістових модулів, методику виконання практичних робіт, приклади розв'язання тематичних завдань, питання гарантованого рівня знань, рекомендовану, базову та допоміжну літературу.

Уважне вивчення наведеної інформації і схем, опрацювання питань гарантованого рівня знань допоможуть студентам успішно справлятися з завданнями поточного і підсумкового контролю.

1. Вивчення режиму коливання рівнів води. Побудова кривих повторюваності та тривалості стояння рівнів води

Метою практичного заняття є вивчення режиму коливання рівнів води та побудова кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води.

Завдання. Обчислити відомість (таблиця 1.1) повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води на річці. За відомістю побудувати криві повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води на річці на міліметровому папері формату А4.

Методика виконання. Водомірні спостереження на річці проходять первинну та спеціальну обробку. Так, побудова кривих повторюваності і тривалості стояння рівнів води належить до спеціальної обробки даних спостереження.

Знання повторюваності (частоти) рівнів води і тривалості (забезпеченості) стояння їх у певних висотних зонах дає змогу повніше використовувати ресурси річок. При проектуванні ГТС і використанні річок для зрошування, судноплавства, лісосплаву тощо потрібно знати повторюваність (частоту) рівнів певної висоти і тривалість (забезпеченість) їх у потрібних висотних межах протягом навігаційного, вегетаційного, зимового або будь-якого іншого періоду року.

Для цього рівні води піддають спеціальній статистичній обробці і за одержаними даними будують криві повторюваності та тривалості рівнів води за будь-який період (сезон, рік, багаторічний період) (рис.1.1).

Вихідними даними для побудови кривих повторюваності та тривалості є річна таблиця середньодобових рівнів. Розрахунки координат цих кривих ведуть в наступному порядку. Спочатку визначають амплітуду коливання рівнів води на протязі року, як різницю між найвищим і найнижчим рівнем води ($A = H_{\text{макс.}} - H_{\text{мінім.}}$). Далі амплітуду розбивають на рівні інтервали (по 10, 20, 30, 40, 50 см), починаючи з найвищого рівня. Останній інтервал може відрізнятися від попередніх. Загальна кількість інтервалів повинна бути не меншою 10-15, але не більше 20.

Далі визначають число днів стояння рівнів води в кожному інтервалі за кожний місяць. Сума числа днів стояння рівнів води за кожний місяць (сума по вертикалі) повинна дорівнювати числу днів в місяці. Складаючи числа днів стояння за кожний інтервал (сума по горизонталі) отримаємо повторюваність рівнів води.

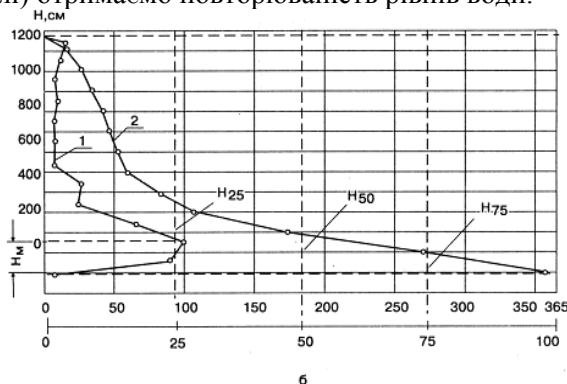


Рис. 1.1. Криві повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води:

1 – частота коливання рівнів води; 2 – забезпеченість рівнів води

Розрахунки координат кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) ведуть за таблицею 1.1.

Для побудови кривих повторюваності (частоти) та тривалості (забезпеченості) (рис. 1.1, 1.2) на осі координат відкладають вибрані інтервали, а на осі абсцис – дні та проценти. Необхідно мати на увазі, що при побудові кривої повторюваності (частоти) обчислені в табл. 1.1 значення відкладають для середини відповідного інтервалу, а при побудові кривої тривалості (забезпеченості) – для кінця інтервалу.

Повторюваність називається число днів за розрахунковий період, коли спостерігався рівень в даній висотній зоні (інтервалі). Повторюваність розрахована у відсотках від тривалості розрахункового періоду, називається **частотою**. **Тривалість** називається число днів за розрахунковий період, коли спостерігався рівень вищий або рівний даному. Тривалість розрахована у відсотках від тривалості періоду називають **забезпеченістю**. Далі визначають модальний та медіальний рівні, верхній та нижній квадриляні рівні. **Модальний рівень** – це значення змінної, яке

відповідає найбільшій частоті. **Медіанний рівень** – це значення змінної, яке ділить ряд на дві рівні частини, тобто це забезпеченість 50%. **Верхній квадрильярний рівень** – відповідає забезпеченості 25 %. **Нижній квадрильярний рівень** – відповідає забезпеченості 75 %.

На кривих повторюваності і тривалості стояння рівнів (з боку) виносять основні характерні рівні – максимальний рівень води (H_{max}), мінімальний рівень води (H_{min}), модальний рівень води (H_{mod}), медіанний рівень води ($H_{50\%}$), верхній квадрильярний рівень ($H_{25\%}$), нижній квадрильярний рівень ($H_{75\%}$).

Приклад 1. Скласти відомість повторюваності та тривалості рівнів води за рік за виділеними інтервалами рівнів води за результатами водомірних спостережень на р. Прут – гідрологічний пост Любківці за 2015 рік (табл. 1.1). *Необхідно:* 1) провести контроль числа днів стояння рівнів води в інтервалі по місяцях; 2) визначити повторюваність рівнів води в інтервалі і проконтролювати результат; 3) визначити частоту появи рівнів води в інтервалі; 4) визначити тривалість стояння рівнів води; 5) визначити забезпеченість рівнів води.

Розв'язок. 1. Контроль числа днів стояння рівнів води проводиться перевіркою останнього рядка таблиці (сума по місяцях), в якому при вертикальному додаванні повинно вийти число днів в місяці (див. табл. 1.1).

2. Повторюваність рівнів за рік для кожного інтервалу визначають додаванням числа випадків (днів) для даного інтервалу за усі місяці. Повторюваність рівнів за рік для даної задачі дорівнює 366 днів.

3. Частота рівнів (або відносна повторюваність) обчислюється у відсотках по відношенню до 366 днів. Обчислення ведуть до сотих і сума частот повинна дорівнювати 100%.

4. Тривалість стояння рівнів води обчислюють як суму повторюваностей (див. табл. 1.1). Для останнього інтервалу тривалість стояння рівнів складає 366 днів.

5. Забезпеченість рівнів обчислюється у відсотках по відношенню до 366 днів. Обчислення ведуть до сотих і для останнього інтервалу рівнів забезпеченість складає 100%.

Таблиця 1.1

Відомість повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води на
р. Прут біля гідрологічного поста Любківці за 2015 рік

Інтервал рівнів, см	Кількість днів стояння рівнів в інтервалах												Повторюваність		Тривалість	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	дні	%	дні	%
520-491													0	0,0	0	0
490-461													0	0,0	0	0
460-431													0	0,0	0	0
430-401													0	0,0	0	0
400-371										1			1	0,3	1	0
370-341						1							1	0,3	2	1
340-311				1		1			2	1			5	1,4	7	2
310-281									2				2	0,5	9	2
280-251			2	1		1		1	1	3			9	2,5	18	5
250-221		1	2	9		1	1	2	1	1			18	4,9	36	10
220-191			2	15	5	3	1	7	5	4			42	11,5	78	21
190-161	3	1	16	4	20	15	3	15	8	17		1	103	28,1	181	49
160-131	23	26	9		6	8	20	6	11	4	30	23	166	45,4	347	95
130-101	5	1					6					7	19	5,2	366	100
	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	100		

Приклад 2. За даними відомості повторюваності та тривалості рівнів води визначити статистичні рівні води. *Необхідно:* 1) вибрати масштаби побудови кривих повторюваності та тривалості рівнів води; 2) побудувати криву повторюваності рівнів води; 3) побудувати криву тривалості рівнів води; 4) визначити модальний рівень води та його відмітку, якщо нуль графіка поста складає 148,40 м абс.; 5) визначити медіанний, верхній квадрил'яний та нижній квадрил'яний рівні води.

Розв'язок. 1. Побудова кривих проводиться в прямокутних координатах. На осі абсцис відкладають час в масштабі 1 мм – 2 доби. Шкали цифрують через 10 днів. Нижче проводять шкалу у відсотках: нуль днів – 0%; 366 днів – 100%.

На осі ординат відкладають рівні води: 1 см відповідає інтервалу рівнів відомості, тобто 1 см – 30 см рівня. Наносять на поле графіка горизонтальні лінії, що відповідають найбільшому рівню та найменшому рівню води.

2. Криву повторюваності рівнів води будують за даними повторюваності, які наведено у відомості (табл. 1.1). Значення повторюваності наносять на середину інтервалів рівнів. Одержані точки з'єднують прямими лініями. Криву доводять до найбільшого рівня при повторюваності нуль днів та доводять до найменшого рівня при повторюваності 0 днів (рис. 1.2).

3. Криву тривалості рівнів води будують за даними тривалості, які наведені у відомості. Значення тривалості наносять на нижню межу інтервалів рівнів. Одержані точки з'єднують прямими лініями. Криву доводять до найбільшого рівня при тривалості нуль днів та доводять до найменшого рівня при тривалості 366 днів. Крива тривалості рівнів є інтегральною по відношенню до кривої повторюваності рівнів води (рис. 1.2).

4. *Модальний рівень* – це рівень, який найбільш часто повторюється. Його визначають за кривою повторюваності як рівень, що має найбільшу частоту, тобто знаходять на кривій точку, яка найбільше відхиляється від осі рівнів. В даному прикладі – 145 см. Цьому рівню відповідає відмітка $148,4 + 1,45 = 149,85$ м.

5. *Медіанний рівень* – рівень, який забезпечений на 50% і його значення змінної ділить ряд на дві рівні частини. У задачі $H_{\text{мед}} = 174$ см. *Верхній квадрил'яний рівень* – відповідає забезпеченості 25%. $H_{25\%} = 198$ см. *Нижній квадрил'яний рівень* – відповідає забезпеченості 75%. $H_{75\%} = 170$ см.

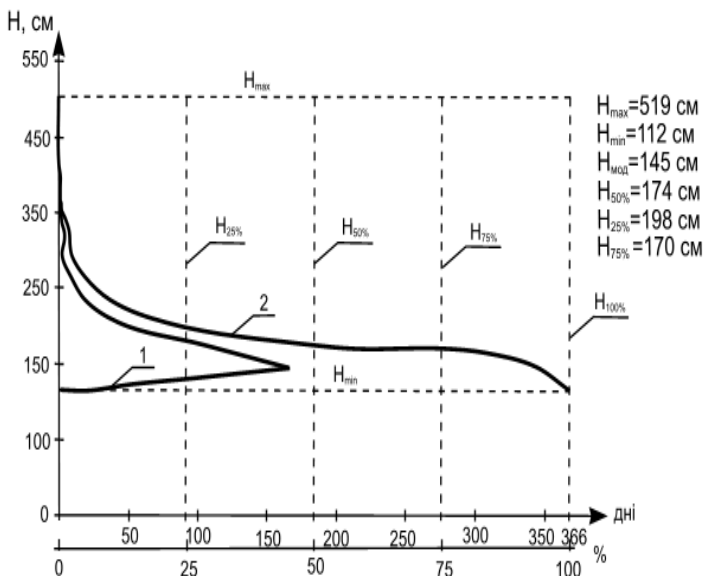


Рис. 1.2. Криві повторюваності (частоти) і тривалості (забезпеченості) стояння рівнів води:

1 – частота колювання рівнів води; 2 – забезпеченість рівнів води

Якби крива частоти була симетрична, то модальний, медіанний і середній арифметичний рівні були б однакові.

2. Промірні роботи на річках та водоймах. Побудова поперечного перерізу русла річки, епюри швидкостей течії води, елементарних витрат води та визначення морфометричних характеристик русла

Метою практичного заняття є вивчення промірних робіт на

річках та водоймах та побудова поперечного перерізу русла річки, епюри швидкостей течії води, елементарних витрат води та визначення морфометричних характеристик русла.

Завдання. Побудувати поперечний переріз русла річки, визначити морфометричні характеристики русла, побудувати епюри швидкостей течії води, елементарних витрат води.

Методика виконання. Матеріали промірних робіт використовують для побудови поперечних профілів і визначень морфометричних характеристик русла, для побудови поздовжніх профілів і плану ділянки річки або водойми в ізобатах та горизонталях.

Ширина річки – це відстань між урізами по поверхні води для даного поперечного перерізу. Ширина річки визначається як різниця відстаней від постійного початку між урізами води.

Площу водного перерізу обчислюють аналітично або вимірюють планіметром. Спосіб аналітичного обчислення показаний на схемі (рис.2.1). За достатньої кількості промірних вертикалей вважають, що лінія дна між промірними вертикалями змінюється по прямій, і відповідно, площа між промірними вертикалями може бути розрахована як сума площ трикутників та трапецій.

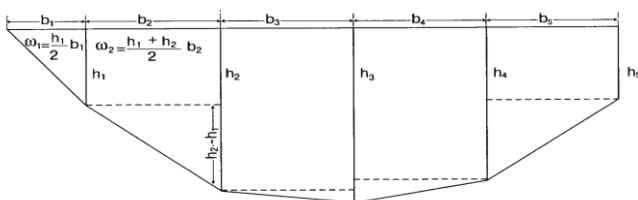


Рис. 2.1. Схема обчислення площі водного перерізу і довжини змоченого периметра

Тобто, площа водного перерізу між промірними вертикалями може бути розрахована як добуток глибин між промірними вертикалями та відстаней між ними.

У межах поперечного перерізу слід відрізняти площу власне поперечного перерізу, площу водного перерізу, площу живого перерізу і площу мертвих зон.

Площею поперечного перерізу називається площа обмежена лініями рівня води і контурами русла річки.

Площа водного перерізу при відкритому русі дорівнює площі поперечного перерізу. За наявності льодяного покриву площа водного перерізу дорівнює різниці між площею поперечного перерізу і площею зануреного льоду.

Площею живого перерізу називають ту частину водного перерізу, де спостерігається рух води. *Площею мертвих зон* називають ту частину площі водного перерізу де не має руху води.

Середню глибину ($h_{\text{сер}}$) обчислюють як відношення площі водного перерізу ω до ширини річки B :

$$h_{\text{сер}} = \frac{\omega}{B}. \quad (2.1)$$

Змочений периметр – довжина лінії дна потоку на профілі поперечного перерізу, яка проходить від урізу до урізу. За наявності льоду до довжини змоченого периметра додають довжину нижньої поверхні льоду. Величина змоченого периметра обчислюється як сума гіпотенуз прямокутних трикутників. Гіпотенузи визначають як корені квадратні із суми квадратів катетів. Катетами є різниця глибин між промірними вертикалями та відстані між ними.

$$P = \sqrt{b_0^2 + h_1^2} + \sqrt{b_1^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_3 - h_2)^2} + \dots + \sqrt{b_{n-1}^2 + (h_n - h_{n-1})^2} + \sqrt{b_n^2 + h_n^2}, \quad (2.2)$$

де b_0 – відстань між берегом (або межею мертвого простору, якщо він є) і першою швидкісною вертикаллю, м; b_n – відстань між останньою промірною вертикаллю та берегом, м; b_1, b_2, \dots, b_{n-1} – відстані між промірними вертикалями, м; h_1, \dots, h_n – виміряні глибини між промірними вертикалями, м;

Змочений периметр також можна визначити графічно, якщо виміряти довжину лінії дна на профілі і перевести її в метри, враховуючи масштаб відстаней від постійного початку.

Гідравлічний радіус – це відношення площі поперечного перерізу русла до змоченого периметра, він визначається за формулою:

$$R = \frac{\omega}{P}. \quad (2.3)$$

Приклад. За даними промірних робіт (глибиною та відстанню між промірними вертикалями) на міліметровому папері формату А-4 будують поперечний профіль за наведеною формою (рис. 2.2) та визначають *морфометричні характеристики* (у таблиці на рис.2.2) – рівень води (H , см), ширина річки (B , м), площа поперечного перерізу річки (ω , м²), середня глибина річки ($h_{сер}$, м), найбільша глибина річки (h_{max} , м), змочений периметр (P , м), гідравлічний радіус (R , м). Розрахунок проводять на спеціальному бланку, виданому викладачем (табл. 2.1).

По вертикалі відкладають глибини, а по горизонталі відкладають відстані від постійного початку до промірних точок.

Масштаби побудови вибирають кратними 1; 2 або 5. Вертикальні масштаби глибин повинні бути крупніші за горизонтальні масштаби відстаней в 5-20 разів.

Переріз будують за даними граф 1, 2, 3 таблиці 3.2. Лінію дна окреслюють прями лініями від однієї промірної вертикалі до іншої.

На перерізі урізи води з'єднують горизонтальною лінією над якою виписують рівень води в абсолютних відмітках: ▼РРВ 202,00 м абс (рис. 2.2).

Таблиця 2.1

Обробка результатів промірів глибин та обчислення площ
живого перерізу

Номер вертикалей	Відстань від постійного початку, b , м	Виміряна глибина, h , м	Середня глибина, $h_{сер}$, м	Відстань між промірними вертикалями, м	Площа між промірними вертикалями, ω , м ²	Площа між швидкісними вертикалями, ω , м ²
1	2	3	4	5	6	7
Уріз правого берега	10	0	0,42 1,00 1,22 2,20 1,95		1,68	5,68
1	14	0,85		4		
2	18	1,15		4	4,00	
3	22	1,30		4	4,88	13,68
4	26	1,80		4	8,80	

5	30	2,10	2,25 2,30 2,05 1,65 1,30 1,05 0,45	4	7,80	16,80
6	34	2,40		4	9,00	
7	38	2,20		4	9,20	17,40
8	42	1,90		4	8,20	
9	46	1,40		4	6,60	11,80
10	50	1,20		4	5,20	
11	54	0,90	5	4	4,20	6,45
Уріз лівого берега	59	0		5	2,25	
Сума	-	-	-	-	71,81	71,81

1. Відмітки дна в промірних точках обчислюють як різницю абсолютної відмітки рівня води та величини глибин в промірних точках (рис. 2.2). Наприклад, для урізу лівого берега: $202,00 - 0,85 = 201,15$ м абс.

Загальну площу водного перерізу річки визначають як суму графі 6, в даному випадку $\omega = 71,81 \text{ м}^2$.

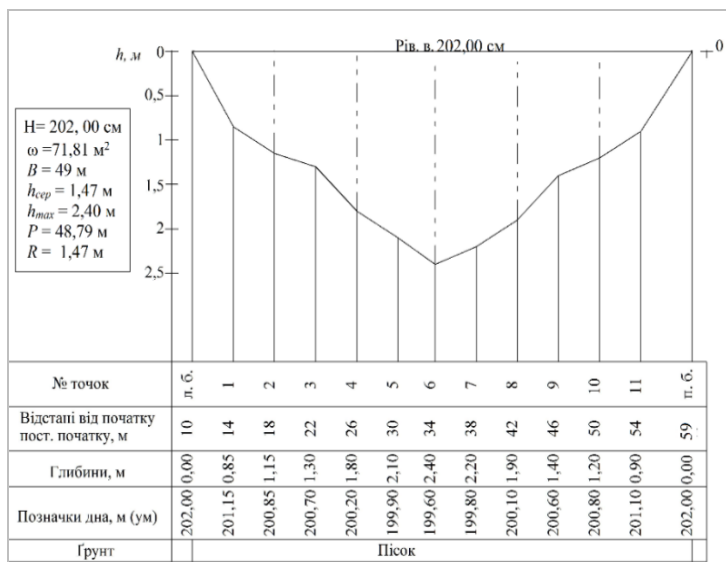


Рис. 2.2. Поперечний переріз русла річки

Основні морфометричні характеристики, розраховані за формулами, які описані у методиці виконання вище прикладу.

2. Площа водного перерізу – площа перпендикулярна до осередненого напрямку руху потоку при відкритому руслі обмежена профілем русла і рівнем води. При льодовому покритті за верхню межу приймається нижня поверхня льоду.

Площу водного перерізу визначають аналітичним способом. За достатньої кількості промірних вертикалей вважають, що лінія дна між промірними вертикалями змінюється по прямій, і відповідно, площа між промірними вертикалями може бути розрахована як сума площ трикутників та трапецій.

Площа водного перерізу між промірними вертикалями (графа 6, табл. 2.1) може бути розрахована як добуток глибин між промірними вертикалями (графа 3) та відстаней між ними (графа 5).

3. Ширина річки: $B = 59 - 10 = 49$ м.

4. Середня глибина водного перерізу: $h_{\text{ср}} = 71,81 / 49 = 1,47$ м.

5. Змочений периметр в даному прикладі змочений периметр дорівнює $P = 48,79$ м.

6. Гідравлічний радіус в даному прикладі дорівнює: $R = 71,81 / 48,79 = 1,47$ м. Отримали, що $R = h_{\text{ср}} = 1,47$ м.

Іншими основними гідрологічними характеристиками потоку є швидкості течії води та витрата води.

Розподіл швидкостей течії води в річному потоці залежить від морфологічних особливостей та шорсткості русла, уклону водної поверхні потоку. Розглянемо розподіл швидкостей по глибині потоку. Графік розподілу швидкостей по глибині потоку (від поверхні води до дна) називається **епюрою швидкостей** або **годографом**.

Розподіл швидкостей по живому перерізу річки можна зобразити у вигляді **ізогах** – ліній рівних швидкостей.

Методика виконання. Суть метода «швидкість - площа» полягає у визначенні об'єму моделі витрати, тобто водяного тіла об'ємом, що дорівнює витраті води через поперечний переріз потоку. Тобто, іншими словами, визначення витрати за вимірними швидкостями течії і площею поперечного перерізу річки. Площу поперечного перерізу потоку знаходять за результатами вимірювання глибин, а швидкості в окремих

точках живого перерізу вимірюють гідрометричними вертушками або поверхневими поплавками.

Витрата розраховується як

$$Q = v_{\text{сер.}} \cdot \omega, \quad (2.4)$$

де ω – площа живого перерізу, м²; $v_{\text{сер.}}$ – середня швидкість течії потоку у руслі річки, м/с.

При цьому застосовують *аналітичний* та *графічний методи* розрахунку, або ж їх поєднання – *графоаналітичний метод*.

Розглянемо *аналітичний спосіб*. Він полягає в тому, що для витрати води визначається як сума часткових витрат між швидкісними вертикалями, тобто витрату води обчислюють за формулою

$$Q = kv_1\omega_0 + \frac{v_1 + v_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{v_{n-1} + v_n}{2}\omega_{n-1} + kv_n\omega_n, \quad (2.5)$$

де Q – витрата води, м³/с; v_1, v_2, \dots, v_n – середні швидкості на швидкісних вертикалях, м/с; ω_0 – площа живого перерізу між берегом (межею мертвого простору, якщо він є) і першою швидкісною вертикаллю, м²; $\omega_1, \omega_2, \omega_{n-1}$ – площі поперечного перерізу між суміжними вертикалями, м²; ω_n – площа поперечного перерізу між останньою швидкісною вертикаллю і берегом, м²; k – коефіцієнт для швидкостей на прибережних швидкісних вертикалях, величина якого залежить від характеру берега, а саме: при пологому березі з нульовою глибиною на урізі $k = 0,7$; при обривистому березі або не рівній стінці $k = 0,8$; при гладкій стінці $k = 0,9$; за наявності мертвого простору $k = 0,5$.

Площі між швидкісними вертикалями визначають як суму площ між промірними вертикалями. Значення середніх швидкостей на вертикалях обчислюють за емпіричними формулами (рис. 2.1).

Аналітичний спосіб визначення витрат води застосовується за результатами визначення витрати води гідрометричною вертушкою детальним, основним, скороченим та прискореним способами.

Результати визначення витрат води зводять у табл. 2.2.

Відповідно табл. 2.2 заповнюється у такому порядку: у 1 графу записуємо номера швидкісних вертикалей.

У 2 графу – глибину на швидкісних вертикалях (використані проміри глибин з табл. 2.1, у якій перша швидкісна вертикаль відповідає другій промірній, друга швидкісна – четвертій, третя швидкісна – шостій, четверта – восьмій, п'ята – десятій промірній. З графи 3 табл. 2.1 виписують відповідні глибини).

У графі 3 вказані точки опускання вертушки від поверхні в частках від глибини на вертикалі.

У 4 графі – розраховуємо глибину точок у метрах, множенням частки на глибину на вертикалі. Глибина для точки «поверхня» встановлюється на 0,1 м, глибина для точки «дно» встановлюється як різниця глибини на вертикалі на 0,1 м.

У 5 і 6 графи – записуємо загальну кількість обертів (N) і тривалість спостережень (t) в секундах в точках вимірювання вертушкою на швидкісних вертикалях (вихідні дані додаток В).

У 7 графу – записують кількість обертів лопатевого гвинта вертушки за одну секунду (n), як відношення $n=N/t$.

У 8 графу – записують швидкість течії в точці, яку визначають за тарувальною кривою (в даному прикладі використано рівняння тарувальної кривої $v=0,283n+0,38$).

У 9 графі – розраховуємо середню швидкість на швидкісній вертикалі за емпіричною формулою

$$V_{сер} = 0,050 \cdot v_{пов} + 0,347 \cdot (v_{0,2} + v_{0,6}) + 0,173 \cdot v_{0,8} + 0,083 \cdot v_{дно}. \quad (2.6)$$

У 10 графі – знаходимо середню швидкість на швидкісній вертикалі. Для першої та останньої швидкісної вертикалі (1/2, 5/10) вона знаходиться множенням на 0,7 середньої швидкості на цих вертикалях. Між іншими швидкісними вертикалями (2/4, 3/6, 4/8) середню швидкість знаходять як середнє арифметичне значення середньої швидкості на суміжних швидкісних вертикалях.

У графу 11 записуємо площі між швидкісними вертикалями (з табл. 2.2, графа 7).

Таблиця 2.2

Визначення витрат води

Номера швидкісних вертикалей	Глибина на вертикалях, м	Глибина точок від поверхні		Загальна кількість обертів, N	Тривалість спостережень, t , с	Кількість обертів за 1 с, n	Швидкість течії в точці	Середня швидкість на вертикалі, $v_{ср}$, м/с	Середня швидкість між вертикалями, м/с	Площа між швидкісними вертикалями, ω , м ²	Витрата води між вертикалями, Q , м ³ /с
		В частках глибини	В метрах								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ур. пр. б.									0,55	5,68	3,12
1/2	1,15	Пов.	0,1	200	115	1,74	0,87	0,79	0,75	13,68	10,26
		0,2	0,23	200	117	1,71	0,86				
		0,6	0,69	200	144	1,39	0,77				
		0,8	0,92	200	159	1,26	0,74				
		Дно	1,05	200	194	1,03	0,67				
2/4	1,8	Пов.	0,1	280	115	2,43	1,07	0,95			
		0,2	0,36	280	120	2,33	1,04				

продовження табл. 2.2

		0,6	1,08	280	130	2,15	0,99		1,04	16,80	17,47
		0,8	1,44	280	195	1,44	0,79				
		Дно	1,70	280	214	1,31	0,75				
3/6	2,4	Пов.	0,1	380	120	3,17	1,28	1,13	1,04	17,40	18,10
		0,2	0,48	380	125	3,04	1,24				
		0,6	1,44	380	135	2,81	1,17				
		0,8	1,92	380	205	1,85	0,90				
		Дно	2,30	380	219	1,73	0,87				
4/8	1,9	Пов.	0,1	280	113	2,48	1,08	0,96	0,88	11,80	10,38
		0,2	0,38	280	118	2,37	1,05				
		0,6	1,14	280	128	2,19	1,00				
		0,8	1,52	280	192	1,46	0,79				
		Дно	1,80	280	212	1,32	0,75				
5/10	1,2	Пов.	0,1	200	113	1,77	0,88	0,80			

продовження табл. 2.2

		0,2	0,24	200	115	1,74	0,87				
		0,6	0,72	200	142	1,41	0,78		0,56	6,45	3,61
		0,8	0,96	200	157	1,27	0,74				
		Дно	1,10	200	192	1,04	0,67				
Ур. л. б.											
Сума										$\Sigma\omega=71,81$	$\Sigma Q=62,94$

У графу 12 записують часткові витрати між швидкісними вертикалями (q , м³/с) як добуток середніх швидкостей на вертикалі на площу між швидкісними вертикалями.

Витрата, яка проходить через живий переріз руслі (Q) буде дорівнювати сумі часткових витрат води між швидкісними вертикалями.

Розглянемо *графічний спосіб* визначення витрат води, виміряних гідрометричною вертушкою. Графічний спосіб визначення витрат води застосовують за результатами визначення витрати води вертушкою детальним способом.

Цей спосіб включає виконання ряду графічних побудов (рис. 2.3):

1. На аркуші міліметрового паперу А-3 будують профіль поперечного перерізу річки і наносять розрахунковий рівень води, враховуючи вимоги, які використовують при обробці матеріалів промірних робіт.

2. На тому ж аркуші креслять епюри швидкостей для кожної швидкісної вертикалі (рис. 2.3).

3. Обчислюють середні швидкості на вертикалях, для цього вимірюють планіметром або палеткою площу епюри.

Відношення площі епюри до глибини на швидкісній вертикалі дає середню швидкість на швидкісній вертикалі.

4. Будують над профілем епюру середніх швидкостей на швидкісних вертикалях по ширині річки (рис. 2.3), з якої знімають значення середніх швидкостей для кожної промірної вертикалі і записують у графу таблиці під профілем.

5. Визначають елементарні витрати води (q , м²/с) для всіх вертикалей (промірних та швидкісних). Для цього значення середніх швидкостей, знятих з епюри по ширині річки, множать на глибину ($q = v_{\text{ср}} \cdot h$) і отримані дані заносять у відповідний рядок під профілем, значення яких заокруглюють до сотих.

6. Будують епюру елементарних витрат води по ширині річки. Для цього значення елементарних витрат відкладають вгору від рівня води на профілі на кожній вертикалі і по одержаних точках проводять плавну лінію (рис. 2.3), яка називається **епюрою елементарних витрат**. Масштаб вибирають так, щоб найбільше значення витрати води було 7-10 см. У вибраному масштабі 1 см – 0,20 м²/с за даними q для всіх промірних вертикалей будується

епюра витрат по всій ширині річки. Вона повинна плавно повторювати хід епюри середньої швидкості і лінії дна. У випадку різкої зміни кривої необхідно перевірити обчислення і побудову.

7. Визначають витрату води, яка проходить через живий переріз русла. Для цього визначають площу епюри елементарних витрат планіметром або палеткою, яка обмежена лінією епюри та лінією поверхні води. Загальна витрата (Q , м³/с) між вертикалями дорівнює добутку площі водного перерізу між швидкісними вертикалями на середню швидкість між ними.

8. Складають таблицю «Прийнятих даних» на вільній частині зліва від профілю, у якій вказують рівень води, морфометричні характеристики русла, обчислену витрату, середню швидкість потоку води, як відношення витрати до площі живого перерізу (див. рис. 2.3).

Середні швидкості на вертикалі графічним способом визначають для кожної глибини за відповідною ординатою кривої (v_{cp}):

$$v_{cp}=F/h \text{ ,} \tag{2.7}$$

де F – площа епюри, м²; h – глибина на вертикалі, м.

Площа епюри (F) визначається палеткою у відповідному масштабі.

Приклад. Епюри швидкостей і елементарних витрат зображено на рис.2.3.

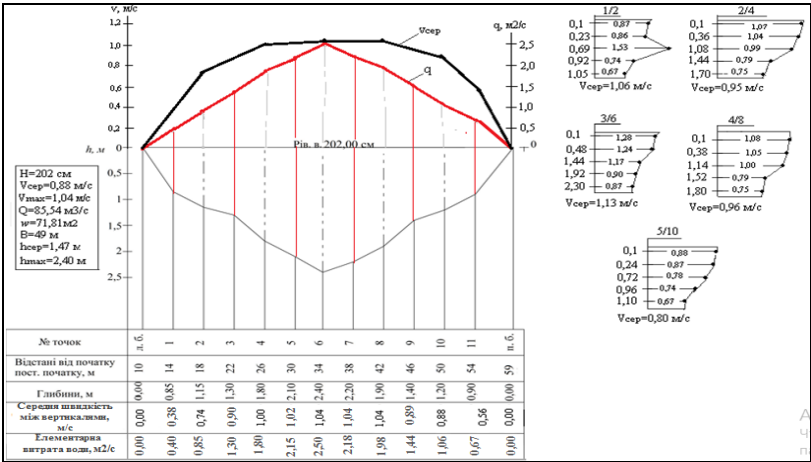


Рис. 2.3. Обчислення графоаналітичним способом елементарних витрат води та швидкостей течії річки

3. Побудова кривих витрат води

Метою практичного заняття є побудова кривих витрат води.

Завдання. Побудувати криві витрат води за варіантом, виданим викладачем.

Методика виконання. Побудова кривої витрат при однозначній залежності між витратами і рівнями виражають графічно. Ця крива необхідна для визначення щоденних витрат води та обчислення її стоку (адже рівні води вимірюються щодня, а витрати – набагато рідше); під час паводків, повеней (4-5 разів на підйомі і 4-5 разів на спаді), у меженний період біля 15-20 разів і т.д.

У гідрометрії прийнято визначати залежність $Q = f(H)$ - крива витрат води, і допоміжні залежності $w = f(H)$, $u = f(H)$.

Рекомендуються такі масштаби побудови:

- для рівнів (H) – 1 см на графіку відповідає 2; 5; 10; 20; 50; 100 см рівня води;
- для витрат (Q) – 1 см на графіку відповідає 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000 м³/с;
- для площ (ω) – 1 см на графіку відповідає 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000 м² площі живого перерізу;
- для швидкостей (v) – 1 см на графіку відповідає 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 м/с середньої швидкості течії.

У випадках значної амплітуди коливання рівнів (A_Q) та якщо відношення найбільшої визначеної витрати до найменшої визначеної витрати буде більше ніж 20, то на цьому ж кресленні у збільшеному масштабі (в 5-10 разів) будують нижню частину кривої витрат до рівня, який відповідає не менше 20-30% амплітуди (A_Q).

Масштаб для побудови кривих вибирається так, щоб хорда, яка сполучає кінці кривої витрат $Q=f(H)$, була розташована приблизно під кутом 45 градусів до осі абсцис, а для кривих площ живого перерізу $\omega=f(H)$ і середніх швидкостей $v=f(H)$ – під кутом 60 градусів.

Приклад. 1). Для побудови кривої витрат (рис.3.1) необхідно мати таблицю вимірюваних витрат води, таблицю щоденних рівнів води, профіль по гідрометричному створі, технічну документацію водпоста, дані, що характеризують режим річки на ділянці гідроствору.

2). Проводиться **ув'язка кривих витрат** у таблиці 3.1. (брати неменше 6 рівнів). На практиці рекомендується до 10 рівнів.

Таблиця 3.1

Ув'язування кривих $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$ і $v = f(H)$

H , см	Значення з кривої			$Q_{обч} = \omega_{кр} \cdot v_{кр}$ м ³ /с	ΔQ , %
	$Q_{кр}$, м ³ /с	$\omega_{кр}$, м ²	$v_{кр}$, м/с		
30	8,50	22,0	0,39	8,58	0,93
50	12,0	25,0	0,48	12,0	0
70	30,2	41,4	0,73	30,22	0,07

Для цих 6-ти рівно однакових рівнів визначаємо по (рис.3.1) витрату згідно з залежностями $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$, $v = f(H)$. І також обчислюємо витрату:

$$Q = \omega \cdot v_{сер}, \quad (3.1)$$

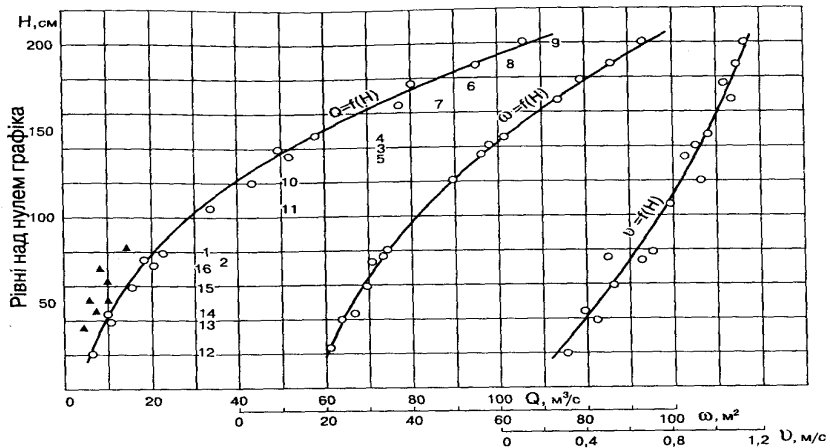


Рис.3.1.Криві витрат води, площ живого перерізу і середніх швидкостей течії

Побудована крива витрат вважається тоді вірною, коли:

$$\Delta Q = \frac{Q_{кр} - Q_{обч}}{Q_{обч}} \cdot 100 \leq 1 \%, \quad (3.2)$$

3). Проводиться **екстраполяція кривих витрат** води – продовження кривих за межі спостереження.

Відомі такі **методи** екстраполяція кривих витрат води:

- продовження кривої $Q = f(H)$ за напрямком, коли $\Delta H \leq 10 \%$;
- екстраполяція за $Q = w \cdot u_{сер}$, тобто за фактичними даними;
- продовження кривої $Q = f(H)$ вниз до найнижчої відмітки нульової витрати.

4). Складається **розрахункова таблиця витрат** води на основі графіка $Q = f(H)$ (у таблиці – 4-5 строк, але рівні повинні бути кратні 10).

Таблиця 3.2

Розрахункова таблиця витрат води

Рівні, см	Витрати, м ³ /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
220										88,10
330	78,50	88,85	99,20	99,55	99,90	110,25	110,60	110,95	111,30	111,65
440	112,0	113,82	115,64	117,46	119,28	221,10	222,92	224,74	226,56	228,38
550	330,2	333,47	336,74	440,01	443,28	446,55	449,82	553,09	556,36	559,63
660	662,9	666,2								

Зазвичай, приймають інтервал рівня 10 см у межах амплітуди визначених витрат води. Наприклад, найменший рівень при визначенні витрат складав 29 см, що на кривій $Q=f(H)$ відповідає витраті 8,10 м³/с (табл. 3.2), а найбільший рівень при визначенні складав 61 см, що відповідає витраті 66,2 м³/с. Вся амплітуда рівнів розбивається на рівновеликі інтервали по 10 см рівня води (30, 40, 50, 60). Для них знімають з кривої $Q=f(H)$ значення витрат і записують в графу «0» (табл. 3.2). Значення витрат для кожного сантиметра інтервалів рівня визначають за лінійною інтерполяцією і записують у відповідну графу. Приріст витрат за окремими інтервалами рівнів повинен рівномірно збільшуватися, або

залишатися постійним із зростанням рівнів води. Наприклад, інтервал 30-40 см, приріст витрат $12,0-8,50=3,5 \text{ м}^3/\text{с}$, інтервал 40-50 см, приріст витрат – $30,2-12,0=18,2 \text{ м}^3/\text{с}$ і т. д.

Якщо витрати менше $1 \text{ м}^3/\text{с}$, то точність інтерполяції витрати складає $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$.

На практиці складають річну таблицю середньодобових витрат води.

4. Розрахунок норми стоку за наявності та відсутності даних спостереження

Метою практичного заняття є проведення розрахунку норми стоку при наявності та відсутності даних спостереження.

Завдання. Розрахувати норму стоку при наявності та відсутності даних спостереження для річки за багаторічний період. Провести розрахунок за всіма необхідними формулами, які наведені нижче.

Методика виконання, приклад. **Норма річного стоку** – це середня величина стоку за певний проміжок часу (рік, сезон і т.д.), яку обчислюють за багаторічними спостереженнями. Норма стоку є одна з основних фізико-географічних умов річкового басейну.

Розрахунки річного стоку (норми річного стоку) ведемо згідно ДБН В 2.4-8:2014, який прийшов на заміну колишньому СНіПу 2.01.14-83 і вступив у дію з 2015 року.

При наявності даних спостережень розрахунки річного стоку ведемо за формулою:

$$Q_{\text{сер}} = \frac{\sum Q_i}{n} = \frac{173,67}{46} = 3,78 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.1)$$

де Q_i – щорічні значення річного стоку, $\text{м}^3/\text{с}$; n – число років спостережень (членів ряду).

Приймається витрата тоді за норму стоку, коли виконується умова:

$$\delta'_Q = \frac{100C_v}{\sqrt{n}} \leq 10 \%, \quad (4.2)$$

де C_v – коефіцієнт варіації стоку.

$$\delta'_Q = \frac{100C_v}{\sqrt{n}} \leq 10 = \frac{100 \cdot 0,52}{\sqrt{46}} = 7,67 \leq 10\% .$$

Обчислюємо статистичні параметри стоку в таблиці 4.1 і за нею ведемо розрахунки.

Визначаємо коефіцієнти варіації (C_v) і коефіцієнти асиметрії (C_s) методом найбільшої правдоподібності, в залежності від статистичних параметрів λ_2 і λ_3 , які визначаються за формулами:

$$\lambda_2 = \frac{\sum \lg K_i}{n-1} \quad \text{і} \quad \lambda_3 = \frac{\sum K_i \lg K_i}{n-1}, \quad (4.3)$$

де K_i - модульний коефіцієнт.

$$\text{Отримаємо } \lambda_2 = \frac{-2,46}{46-1} = -0,056 \quad \text{і} \quad \lambda_3 = \frac{2,42}{45} = 0,054.$$

Таблиця 4.1

Статистичні параметри стоку р. Тур'я біля м. Ковель за
1946-1991 роки спостереження

№ з/п	Роки	$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$ в ранжованому ряді	$K_i = Q_i / Q_0$	$K_i - 1$	$(K_i - 1)^2$	$(K_i - 1)^3$	$\lg K_i$	$K_i \lg K_i$	$P = \frac{m \cdot 100\%}{n+1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1946	2,42	9,46	2,51	1,51	2,27	3,41	0,40	1,00	2,13
2	1947	2,43	8,33	2,21	1,21	1,46	1,76	0,34	0,76	4,26
3	1948	8,33	7,69	2,04	1,04	1,08	1,11	0,31	0,63	6,38
4	1949	3,56	7,64	2,02	1,02	1,05	1,07	0,31	0,62	8,51
...
43	1988	5,67	1,81	0,48	-0,52	0,27	-0,14	-0,32	-0,15	91,49
44	1989	3,85	1,79	0,47	-0,53	0,28	-0,15	-0,32	-0,15	93,62
45	1990	2,90	1,16	0,31	-0,69	0,48	-0,33	-0,51	-0,16	95,74
46	1991	3,64	1,09	0,29	-0,71	0,51	-0,36	-0,54	-0,16	97,87
Сума		173,67	173,67	46,00	0,00	12,04	6,48	-2,46	2,42	

За номограмами (рис.4.1-4.4) встановлюємо чи точка потрапляє на будь-який із графіків, якщо так, то визначаємо за ними C_v і C_s .

$$C_v=0,52 \text{ і } C_s=2,5 C_v=1,3$$

Якщо точка не потрапляє на графік, то коефіцієнт варіації визначаємо методом моментів:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad n \leq 30 \quad \text{і} \quad C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n}}, \quad n \geq 30. \quad (4.4)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{12,04}{46}} = 0,51.$$

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (K - 1)^3}{(n - 1)(n - 2)C_v^3}, \quad (4.5)$$

$$C_s = \frac{46 \cdot 6,48}{45 \cdot 44 \cdot 0,51^3} = 1,13$$

Приймаємо $Q_{сер} = Q_0$, якщо виконується умова (4.2).

$Q_{сер} = Q_0 = 3,78 \text{ м}^3/\text{с}$. Якщо ж $\delta_Q' \geq 10\%$, то ряд спостереження є коротким, його необхідно продовжити, але в умовах навчальних розрахунків приймаємо, що умова виконується.

При відсутності даних спостережень норму стоку визначають за картами ізоліній (рис.4.5), інтерполюючи і порівнюючи з визначеним шаром стоку або за річками-аналогами.

У нашому випадку $M_0 = 2,59 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

Об'єм стоку визначаємо за формулою:

$$W_0 = Q_0 \cdot t, \quad (\text{м}^3), \quad t = 31,54 \cdot 10^6 \text{ (с)}, \quad (4.6)$$

$$W_0 = 3,78 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 11,9 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Модуль стоку визначаємо за формулою:

$$M_0 = \frac{Q_0}{F} \cdot 10^3, \quad (\text{л/с} \cdot \text{км}^2), \quad (4.7)$$

$$M_0 = \frac{3,78}{1480} \cdot 10^3 = 2,55 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2.$$

Шар стоку визначаємо за формулою:

$$y_0 = \frac{W_0}{F \cdot 10^3}, \quad (\text{мм}), \quad (4.8)$$

$$y_0 = \frac{11,9 \cdot 10^7}{1480 \cdot 10^3} = 80,4 \text{ мм.}$$

де F – площа водозбору, км².

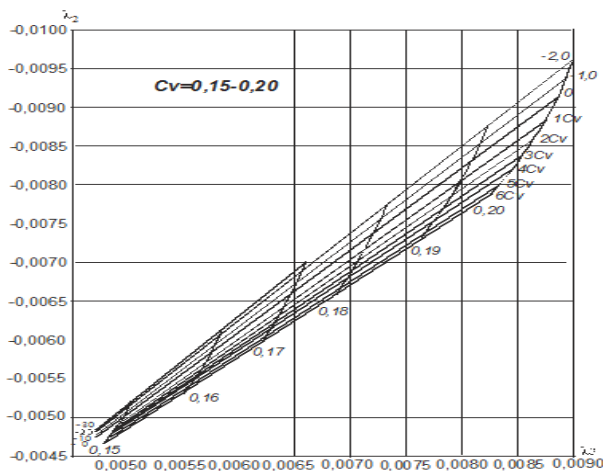


Рис.4.1. Номограма для обчислення параметрів трипараметричного гамма-розподілу C_v та C_s методом найбільшої правдоподібності при $C_v = 0,15 - 0,20$

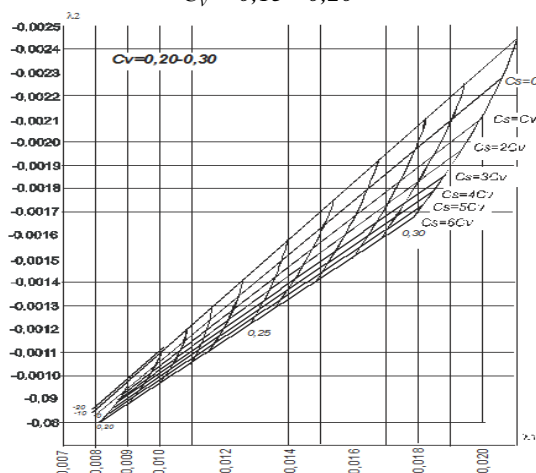


Рис.4.2. Номограма для обчислення параметрів трипараметричного гамма-розподілу C_v та C_s методом найбільшої правдоподібності при $C_v = 0,20 - 0,30$

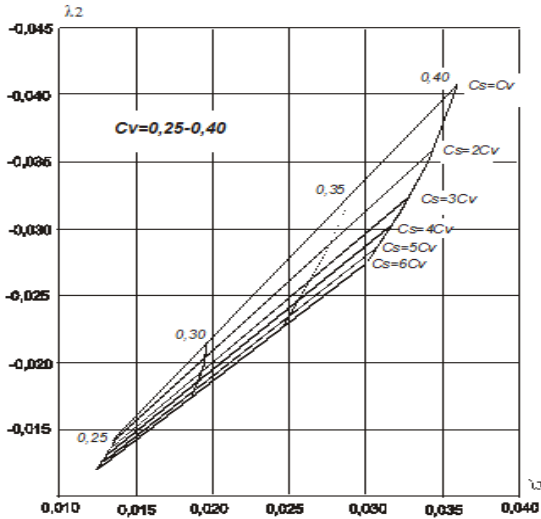


Рис.4.3. Номограма для обчислення параметрів трипараметричного гамма-розподілу C_v та C_s методом найбільшої правдоподібності при $C_v = 0.25 - 0.40$

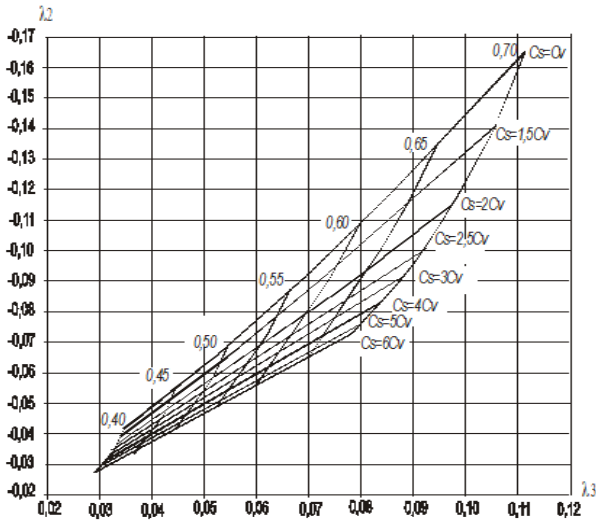


Рис.4.4. Номограма для обчислення параметрів трипараметричного гамма-розподілу C_v та C_s методом найбільшої правдоподібності при $C_v = 0.40 - 0.70$

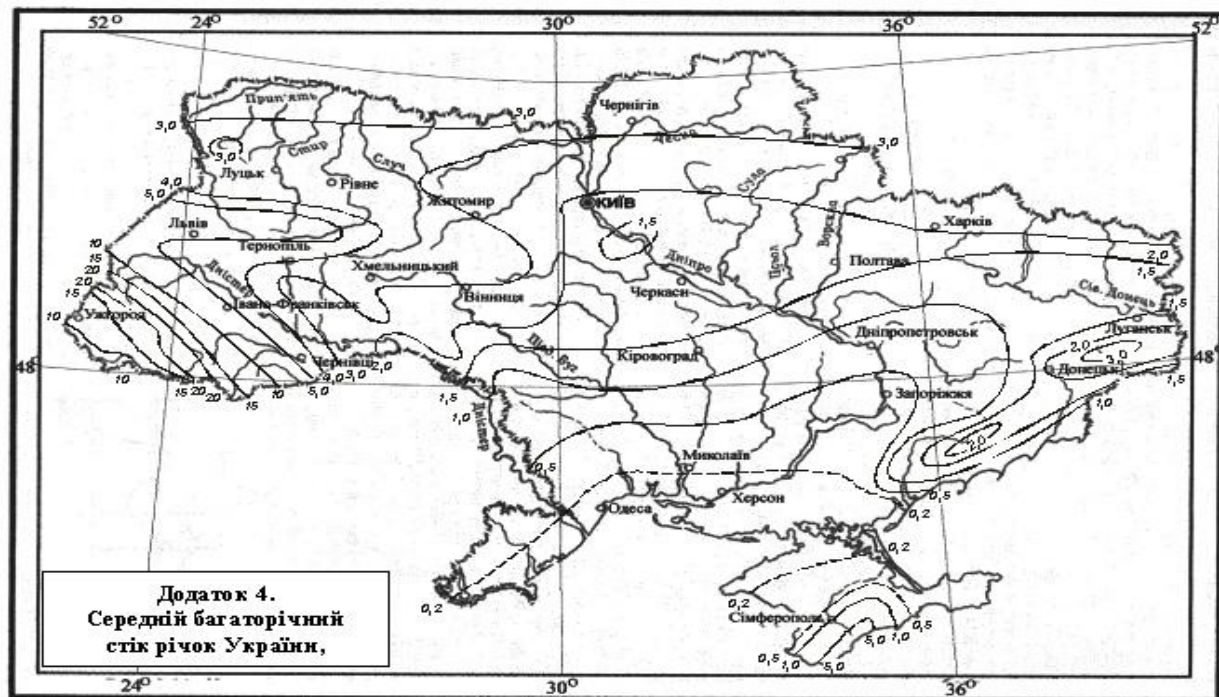


Рис.4.5. Середній багаторічний стік річок України

5. Розрахунок норми стоку заданої забезпеченості

Метою практичного заняття є проведення розрахунку норми річного стоку заданої забезпеченості.

Завдання. Розрахувати норму річного стоку заданої забезпеченості – для середнього за водністю року ($p=50\%$) та маловодного року ($p=80\%$). Провести розрахунок за всіма необхідними формулами, які наведені нижче.

Методика виконання. Під **забезпеченістю** розуміють ймовірність перевищення даної величини.

Витрати певної забезпеченості визначаються за розрахунковою кривою забезпеченості.

При наявності даних спостережень будують емпіричну криву забезпеченості за ранжованим рядом спостережень (p , %):

$$p = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

де m - порядковий номер кожного члена ранжованого ряду спостережень; n - число років спостережень за стоком.

Координати емпіричної кривої розраховані в таблиці 4.1. Отримані точки наносимо на сітчатку ймовірностей.

Для згладжування та екстраполяції емпіричної кривої використовують теоретичні криві забезпеченості. Їх будують на клітчатці ймовірності. Основна властивість клітчатки ймовірності полягає в тому, що на ній крива забезпеченості із $C_s=0$ має вигляд прямої лінії, при інших значеннях C_s , криві забезпеченості, які будуються на клітчатці ймовірностей мають вигляд плавних ліній. Клітчатки ймовірностей бувають із звичайною та логарифмічною вертикальними шкалами. Звичайні застосовуються при $C_s \leq 2C_v$, якщо $C_s > 2C_v$, то – логарифмічні клітчатки ймовірностей.

Спочатку оцінюють похибку при обчисленні C_v та C_s визначивши відносні похибки.

Приклад. При обчисленні методом моментів відносні похибки δ_{cv} і δ_{cs} визначають за формулами:

$$\delta_{cv} = \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

$$\delta_{cv} = \sqrt{\frac{1+0,51}{2 \cdot 46}} \cdot 100\% = 13\% > 10\% .$$

$$\delta_{cs} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6(1+6Cv^2+5Cv^4)}{n}} \cdot 100\% . \quad (5.3)$$

$$\delta_{cs} = \frac{1}{1,13} \sqrt{\frac{6 \cdot (1+6 \cdot 0,51^2 \cdot 5 \cdot 0,51^4)}{46}} \cdot 100\% = 39,8\% > 10\%$$

При обчисленні методом найбільшої правдоподібності відносна похибка δ_{cv} визначається за формулою:

$$\delta_{cv} = \sqrt{\frac{3}{2n(3+Cv^2)}} * 100\% . \quad (5.4)$$

$$\delta_{cv} = \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 46(3+0,52^2)}} \cdot 100\% = 9,98\% \leq 10\% .$$

Відносні похибки повинні бути в межах до 10%.

При обчисленні C_s методом моментів, похибка, як правило, перевищує допустимі значення, тому C_s визначають методом підбору в залежності від відношення C_v та C_s (на практиці необхідний ряд до 100 років).

На емпіричні точки наносять декілька теоретичних кривих. За розрахункову приймають таку із них, яка найкраще співпадає з емпіричними точками (рис. 5.1).

Розрахунок проводимо в такому порядку.

Координати теоретичної кривої забезпеченості обчислюють за формулою:

$$Q_p = Q_0 \cdot K_p , \quad (5.5)$$

$$Q_p = Q_0 \cdot (\Phi Cv + 1), \quad (5.6)$$

де Q_p - витрата забезпеченості p ; Q_0 - норма річного стоку, м³/с;
 Φ - число Фостера, яке визначається за додатком 1.

$$\Phi = f(p, C_s), \quad (5.7)$$

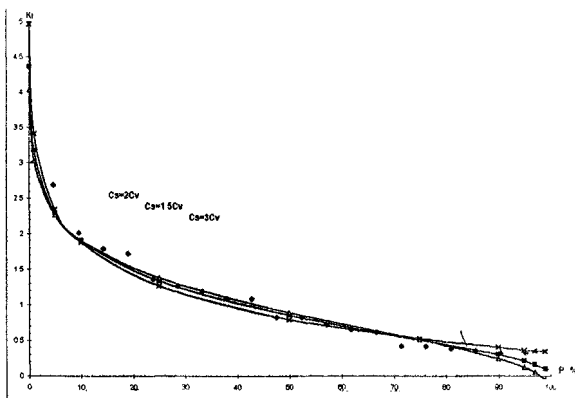


Рис.5.1. Теоретичні криві забезпеченості річного стоку на р. Турія біля м. Ковель

Координати теоретичної кривої обчислюємо в таблиці 5.2 (для 9-12 точок p).

Таблиця 5.2
Розрахунок координат теоретичної кривої

$p, \%$	0,1	1	10	25	50	75	90	95	99,0
$C_s = 1,5C_v = 1,5 \cdot 0,52 = 0,78$									
Φ	4,080	2,876	1,350	0,597	-0,16	-0,74	-1,21	-1,50	-1,65
ΦC_v	2,12	1,49	0,70	0,31	-0,09	-0,38	-0,63	-0,78	-0,86
$K_p = \Phi C_v + 1$	3,12	2,49	1,70	1,31	0,92	0,61	0,37	0,22	0,14
$C_s = 2,0C_v = 2,0 \cdot 0,52 = 1,04$									
Φ	4,330	2,980	1,35	0,56	-0,17	-0,74	-1,16	-1,30	-1,55
ΦC_v	2,25	1,55	0,70	0,29	-0,088	-0,38	-0,60	-0,68	-0,81
$K_p = \Phi C_v + 1$	3,25	2,55	1,70	1,29	0,91	0,61	0,40	0,32	0,19
$C_s = 3,0C_v = 3,0 \cdot 0,52 = 1,56$									
Φ	5,080	3,210	1,310	0,510	-0,19	-0,73	-1,10	-1,23	-1,46

ΦC_v	2,64	1,67	0,68	0,26	-0,099	-0,379	-0,57	-0,64	-0,77
$K_p = \Phi C_v + 1$	3,64	2,67	1,68	1,26	0,90	0,62	0,43	0,36	0,23

$$Q_{50\%} = Q_0 \cdot K_{50\%} = 3,78 \cdot 0,89 = 3,36 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$Q_{80\%} = Q_0 \cdot K_{80\%} = 3,78 \cdot 0,57 = 2,15 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При відсутності даних спостережень, за розрахункову приймають теоретичну криву забезпеченості, побудовану за визначеними тим чи іншим методом статистичними параметрами.

При великих значеннях C_v теоретична крива забезпеченості перетинає вісь абсцис, що є абсурдним.

6. Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку методом реального року

Метою практичного заняття є проведення внутрішньорічного розподілу стоку методом реального року.

Завдання. Виконати розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку методом реального року для середнього за водністю року ($p=50\%$) та маловодного року ($p=80\%$). Провести розрахунок за всіма необхідними формулами, які наведені нижче.

Методика виконання. Протягом року стік річок розподіляється досить нерівномірно, що зумовлено, головним чином, внутрішньорічною мінливістю метеорологічних факторів. Внутрішньорічний розподіл стоку залежить від місцевих та антропогенних чинників. Регуляторами стоку виступають водосховища, озера сезонного та багаторічного регулювання. Вирівнюванню внутрішньорічного ходу стоку сприяє карст. Протягом коротких відрізків часу фактором, що вирівнює розподіл стоку, є лісистість, яка переводить частину поверхневого стоку у підземний – для великих басейнів річок, а для малих річок – лісистість не регулює стік, а лише зменшує його у зв'язку з невеликою глибиною ерозійного урізу русел річок у підстилну поверхню.

При проектуванні ГЕС потрібно знати розподіл стоку серед року за сезонами, місяцями чи декадами. Розрізняють календарний та некалендарний розподіли стоку. **Календарний розподіл**

розглядається у межах декад, місяців, сезонів. **Некалендарний розподіл** – розглядає стік у вигляді кривих тривалості добових витрат води.

Внутрішньорічний розподіл стоку обчислюється, не за календарними, а за *водогосподарськими роками*, починаючи з багатоводного сезону. Наприклад, з першого дня початку весняної повені одного року і до початку повені наступного року. За типовим внутрішньорічним розподілом стоку територію України поділено на 16 районів. Водогосподарський рік поділено на два періоди: *багатоводний* (з 3-5 міс.) і *маловодний* (з 6-2 міс.). Багатоводний період на території України має один сезон, а маловодних два – літньо-осінній та зимовий сезони. Маловодний період ще називають – **лімітуючим періодом**, тобто найбільш критичний період у використанні стоку. **Лімітуючий сезон** – критичний сезон в середині лімітуючого періоду у використанні стоку. Лімітуючий період і лімітуючий сезон назначають виходячи із цілей використання стоку, водоспоживання в різні сезони року. Якщо використання стоку розраховане на сільськогосподарські потреби, лімітуючим сезоном вважають літо-осінь, зрошення – літо-осінь, гідроенергетика – зима, осушувальні меліорації – період повені.

Приклад. Розрахунки внутрішньорічного розподілу стоку при наявності даних спостережень проводять методом реального року.

Із існуючих календарних років складаємо водогосподарські роки, які розпочинаються з початку багатоводного періоду (у нашому випадку із березня-місяця) і закінчуються маловодним періодом (лютим-місяцем).

За лімітуючий період приймаємо: літо-осінь, зиму; за лімітуючий сезон – літо-осінь.

За кожен водогосподарський рік визначаємо суму місячних витрат за рік, лімітуючий період і лімітуючий сезон, складаючи середні місячні витрати за відповідні місяці (табл. 6.1, граfi 3-5).

Розміщуємо ці значення в порядку зменшення і виписуємо відповідні їм роки (табл. 6.1, граfi 6-11) та обчислюємо їхню забезпеченість за формулою (5.1) (табл. 6.1, графа 12).

Вибираємо роки-моделі для середнього за водністю ($p=50\%$) та маловодного ($p=80\%$) років.

Це будуть відповідно 1976-77 і 1983-84 роки (табл. 6.1).

У роках-моделях визначаємо відносний внутрішньорічний розподіл стоку в процентах від сумарного за рік (табл. 6.2).

Щоб встановити внутрішньорічний розподіл стоку в розрахункових роках, розподіляємо сумарний стік за середній по водності рік

$$\Sigma Q_{сер} = 3,36 \cdot 12 = 40,38 \text{ м}^3/\text{с} ,$$

і маловодний рік

$$\Sigma Q_{80\%} = 2,15 \cdot 12 = 25,80 \text{ м}^3/\text{с} ,$$

за встановленим відносним розподілом стоку для відповідного року (табл. 6.2).

Таблиця 6.1

Суми місячних витрат ΣQ р. Тур'я біля м. Ковель за рік, лімітуючий період і сезон

№ з/ п	Рік	ΣQ_{mic} за рік	ΣQ_{mic} за ліміту- ючий період	ΣQ_{mic} за ліміту- ючий сезон	Сума місячних витрат в порядку зменшення						P, %
					за рік		за лімітуючий період		за лімітуючий сезон		
					рік	ΣQ_{mic}	рік	ΣQ_{mic}	рік	ΣQ_{mic}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
...
21	1966-67	43,6	12,7	6,33	<u>1976-77</u>	40,8	1977-78	19,9	1971-72	8,90	45,6
22	1967-68	55,6	11,5	5,08	1971-72	40,6	1985-86	18,4	1979-80	8,59	47,8
23	1968-69	26,9	12,1	9,28	1987-88	40,4	1962-63	16,9	1956-57	8,26	50,0
24	1969-70	26,6	9,61	7,97	1982-83	40,2	<u>1976-77</u>	15,0	<u>1976-77</u>	8,00	52,1
25	1970-71	64,5	42,8	13,4	1989-90	39,8	1979-80	14,8	1969-70	7,97	54,3
...
37	1982-83	40,2	12,5	6,78	1957-58	24,1	1949-50	6,82	<u>1983-84</u>	1,81	80,4
38	1983-84	22,5	3,75	1,81	1986-87	23,4	1964-65	6,70	1950-51	1,77	82,6
39	1984-85	12,6	7,80	5,92	1950-51	22,6	1959-60	4,91	1951-52	1,74	84,7
40	1985-86	34,5	18,4	9,52	<u>1983-84</u>	22,5	<u>1983-84</u>	3,75	1949-50	1,72	86,9
41	1986-87	23,4	7,00	5,60	1959-60	21,8	1951-52	3,02	1957-58	1,65	89,1
...
45	1990-91	51,7	41,5	30,6	1984-85	12,6	1963-64	1,65	1961-62	1,02	97,8

Багатоводний рік за водністю відповідає забезпеченості – 1%-33%, середній рік – 33,1%-66%, маловодний і дуже маловодний рік – 66,1%-99%.

Таблиця 6.2

Розподіл стоку за місяцями у вибраних реальних роках-моделях і роках розрахункової забезпеченості

Характерні роки	Q	Місячний стік												Річний стік
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерні роки-моделі														
Середній	м ³ /с	8,96	13,4	3,45	3,08	0,92	0,56	0,60	1,16	1,68	1,82	0,71	4,50	40,8
1976-77	%	21,9	32,8	8,44	7,54	2,25	1,37	1,47	2,84	4,12	4,45	1,72	11,1	100
Маловодний	м ³ /с	7,19	8,94	2,69	0,64	0,24	0,16	0,20	0,28	0,29	0,46	0,73	0,75	22,5
1983-84	%	31,8	39,6	11,9	2,84	1,07	0,72	0,89	1,25	1,29	2,05	3,24	3,33	100
Розрахункові роки														
Середній Р=50%	м ³ /с	8,87	13,27	3,41	3,05	0,91	0,54	0,59	1,13	1,66	1,80	0,70	4,45	40,38
Маловодний Р=80%	м ³ /с	8,20	10,2	3,07	0,73	0,27	0,18	0,23	0,32	0,33	0,52	0,83	0,86	25,80

7. Розрахунок максимальних витрат води та об'ємів за відсутності даних спостереження

Метою практичного заняття є обчислення максимальних витрат води та об'ємів при відсутності даних спостереження.

Завдання. Виконати розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку методом реального року для середнього за водністю року ($p=50\%$) та маловодного року ($p=80\%$). Провести розрахунок за всіма необхідними формулами, які наведені нижче.

Методика виконання. Розрахункові максимальні витрати можуть бути: *повеневі; наводкові* (дощові).

Розрахунок **максимальних витрат і об'ємів весняної повені** при відсутності даних спостережень згідно ДБН В 2.4-8:2014 (колишній СНІП 2.01.14-83) проводять за формулою Воскресенського-Соколова, яка за структурою являється редукційною і використовується для рівнинних річок:

$$Q_p = \frac{k_0 h_p \mu}{(F + F_1)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2 F, \quad (7.1)$$

де Q_p – розрахункова миттєва максимальна витрата води заданої забезпеченості ($p = 3\%$), м³/с; k_0 – коефіцієнт дружності весняної повені (додаток 5); h_p – сумарний шар стоку весняної повені тієї ж забезпеченості ($p = 3\%$), мм (додаток 3); F – площа водозбору до розрахункового створу, км²; F_1 – додаткова площа водозбору, що враховує ступінь редукції, км² (табл. 7.1); n_1 – показник ступеня редукції (табл. 7.1); δ – коефіцієнт, що враховує вплив ставок та водосховищ (формула 7.4); δ_1 – коефіцієнт, що враховує вплив лісистості (формула 7.5); δ_2 – коефіцієнт, що враховує вплив заболоченості (формула 7.6); μ – коефіцієнт, що враховує нерівність статистичних параметрів шару стоку і максимальних витрат, залежить від розрахункової забезпеченості і природної зони (табл. 7.4).

Шар стоку визначають за такими статистичними параметрами: середнім багаторічним шаром стоку, h_0 ; коефіцієнтами варіації C_v і коефіцієнтами асиметрії C_s стоку повені. Значення h_0 визначають за картами ізоліній середнього шару стоку весняної повені (додаток 3). А також всі поправочні коефіцієнти формули (7.1) знаходять по таблицях цієї ж методики.

Розраховуємо об'єм стоку повені за формулою:

$$W_p = h_p F 10^3, \quad (7.2)$$

де W_p – об'єм стоку повені 3% забезпеченості, м³.

Розрахунок максимальних витрат і **об'ємів дощових паводків** при відсутності даних спостережень згідно СНІП 2.01.14-83 проводять за редукційною формулою або за формулою граничної інтенсивності стоку. У роботі використовуємо редукційну формулу:

$$Q_p = q_{200} \left(\frac{200}{A} \right)^{n_3} \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_{p\%} F, \quad (7.3)$$

Формула (7.3) використовується при площі водозбору понад 100 км², крім лісової зони, де вона застосовується при $F > 50$ км² і річок Криму – при $F > 200$ км².

де q_{200} – модуль миттєвої витрати води ймовірністю перевищення $p=1\%$ при $\delta = \delta_2 = \delta_3 = 1$ приведений до площі водозбору 200 км^2 (додаток 6); n_3 – показник степеня редукції модуля максимальної розрахункової витрати води (додаток 7); δ_3 – коефіцієнт, що враховує зміну параметра q_{200} із зміною середньої висоти водозбору в гірських районах (додаток 6); $\lambda_{p\%}$ – перехідний коефіцієнт від забезпеченості 1% до інших розрахункових значень (табл. 7.8).

Об'єм дощового паводку обчислюємо так як і в попередньому випадку за формулою (7.2), враховуючи, що шар паводку 3% -ї забезпеченості $h_{3\%} = h_{1\%} \cdot \lambda_p$. Шар стоку 1% -ї забезпеченості визначаємо за картою (додаток 8).

Шар стоку визначають за такими статистичними параметрами: середнім багаторічним шаром стоку h_0 ; коефіцієнтами варіації C_v і асиметрії C_s стоку повені. Значення h_0 визначають за картами ізоліній середнього шару стоку весняної повені, яка відтворює середні зональні умови формування строку весняної повені. Для врахування азональних факторів використовують поправочні коефіцієнти, які враховують вплив на стік повені рельєф водозбору, закарстованість і озерність. Значення цих коефіцієнтів наведені в таблицях.

Значення параметрів F_1 і n_1 знаходять за даними таблиці 7.1

Таблиця 7.1

Значення параметрів F_1 і n_1

Природна зона	n_1	$F_1, \text{км}^2$
Лісова зона	0,17	1
Лісостепова зона	0,25	2
Засушливих степів	0,35	10

Примітка: значення параметрів F_1 і n_1 на межі природних зон визначаються інтерполяцією. Для Українського та Білоруського Полісся (басейни річок Прип'яті та Бугу) слід брати $n_1 = 0,2$, а $F_1 = 1,0$.

Коефіцієнт δ визначається за формулою

$$\delta = \frac{1}{1 + CF_{oz}}, \quad (7.4)$$

де F_{oz} – середньозважена озерність басейну, або відносна озерність басейну; C – параметр, величина якого залежить від середнього шару повені h_0 , значення наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Значення коефіцієнта C

Середній шар стоку весняної повені, h_0	Коефіцієнт C
> 100	0,2
99-50	0,2-0,3
49-20	0,3-0,4
< 20	0,4

Коефіцієнт δ_1 визначається за формулою

$$\delta_1 = \frac{\alpha}{(F_l + 1)^{n_1}}, \quad (7.5)$$

де F_l – лісистість водозбору; n_1 – коефіцієнт редукції; α – параметр, що враховує розташування лісу на водозборі.

Параметри α і n_1 визначають за даними таблиці 7.3.

Таблиця 7.3

Значення параметрів α і n_1

Природна зона	Розміщен-ня лісу на водозборі	Значення α при F_l , %			n_1 в залежності від ґрунтів		
		Від 3	Від 10	Від 20	Різного механіч- ного складу	Супісок	Сугли- нок
Лісова	A	1	1	1	0,22	-	-
	B	0,85	0,80	0,75	0,22	-	-
	C	1,20	1,25	1,30	0,22	-	-
Лісо-стєпова	A,C	1	1	1	0,16	0,21	0,10
	B	1,25	1,30	1,40	0,16	0,20	0,10

Примітки: 1. Розміщення лісу на водозборі приймається умовно: А – рівномірне; В – в верхній частині водозбору; С – в нижній частині водозбору. 2. В лісній зоні значення коефіцієнта n_1 приймається рівним 0,22 незалежно від типу ґрунтів. При відсутності даних про розташування лісу на водозборі значення параметрів приймаються для типу А.

Коефіцієнт δ_2 визначається за формулою

$$\delta_2 = 1 - \gamma \lg(0,1F_6 + 1), \quad (7.6)$$

де γ – коефіцієнт, що враховує тип боліт і склад ґрунтів навколо боліт; F_6 – заболоченість водозбору, %.

Для низинних боліт і заболочених луків та лісів $\gamma = 0,8$; для водозборів що включають болота різних типів $\gamma = 0,7$; для верхових боліт на водозборах, що складені супіщаними і легко суглинистими ґрунтами $\gamma = 0,5$; для верхових боліт на водозборах, що складені середньо суглинистими і глинистими ґрунтами $\gamma = 0,3$; F_6 – заболоченість водозбору, в %.

Значення коефіцієнта μ знаходять за даними таблиці 7.4 в залежності від розрахункової забезпеченості і природної зони.

Таблиця 7.4

Значення коефіцієнта μ

Природна зона	Забезпеченість, Р%					
	0,1	1	3	5	10	25
Лісова зона	1,02	1	0,97	0,96	0,93	0,9
Лісостепова	1,04	1	0,96	0,93	0,89	0,8
Степова	1,04	1	0,97	0,96	0,93	0,88
Засушливих степів	1,02	1	0,98	0,97	0,96	0,92

Таблиця 7.5

Поправочні коефіцієнти до значень середнього багаторічного шару h_0 в залежності від площі водозбору

h_0 , мм	Площа водозбору, км ²			
	≤200	500	1000	3000
≤10	1,8	1,5	1,3	1
20	1,6	1,3	1,2	1
30	1,4	1,2	1,1	1
50	1,2	1,1	1,0	1

Таблиця 7.6

Коефіцієнти зниження шару стоку весняної повені в залежності від озерності водозбору

Ступінь озерності водозбору $f_{оз}, \%$	Коефіцієнт зниження шару стоку
0-5	0,9
5-10	0,8
10-15	0,75
>15	0,6

Таблиця 7.7

Поправочні коефіцієнти до розрахункового значення коефіцієнта варіації C_V

Площа водозбору, $F, \text{км}^2$	0-50	51-100	101-150	151-200
Поправочний коефіцієнт	1,25	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,05

Значення коефіцієнта асиметрії приймають рівним двом значенням коефіцієнта варіації $C_S=2C_V$ (C_V визначається за Дод. 4). За розрахунковими параметрами h_0 , C_S і C_V знаходять шар повені розрахункової забезпеченості.

$$h_p = (\Phi_p C_V + 1) h_0, \quad (7.7)$$

де Φ – число Фостера, що знаходиться за таблицею, в залежності від C_S і P (Дод. 1).

Значення коефіцієнта k_0 визначається за картою районування (Дод. 5).

Об'єм стоку повені визначаємо за формулою (7.2).

Приклад. Проведемо розрахунок максимальних витрат та об'ємів весняної повені при відсутності даних спостереження для р. Тур'я біля м. Ковель.

$$h_{3\%} = h_0 \cdot k_{3\%} = 58 \cdot 2,34 = 136 \text{ мм.}$$

Модульний коефіцієнт $k_{3\%}$ визначаємо за додатком 9 при $C_S=2C_V$. Коефіцієнт $\mu=0,97$ (табл. 7.4, для лісової зони).

Для Українського Полісся $F_I=1,00$; $n_I=0,20$, (табл.7.1).

Коефіцієнт δ визначаємо за формулою (7.4)

$$\delta = \frac{1}{1 + 0,3 \cdot 1} = 0,77.$$

Коефіцієнт δ_I визначаємо за формулою (7.5), значення параметрів α_I і n_I – за табл.7.3.

$$\delta_I = \frac{1}{(13+1)^{0,22}} = 0,56.$$

Коефіцієнт δ_2 визначаємо за формулою (7.6) при $\gamma = 0,8$.

$$\delta_2 = 1 - 0,8 \lg(0,1 \cdot 18 + 1) = 1 - 0,36 = 0,64.$$

Максимальна витрата весняної повені 3%-ної забезпеченості р. Тур'я біля м. Ковеля.

$$Q_{3\%} = \frac{0,010 \cdot 136 \cdot 0,97}{(1480+1)^{0,20}} \cdot 0,77 \cdot 0,56 \cdot 0,64 \cdot 1480 = 127 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Об'єм весняної повені визначаємо за формулою (7.2)

$$W_{3\%} = 136 \cdot 1480 \cdot 10^3 = 2,01 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

Приклад. Проведемо розрахунок максимальних витрат та об'ємів дощового паводка при відсутності даних спостереження для р. Тур'я біля м. Ковель.

Таблиця 7.8

Перехідні коефіцієнти λ_P від максимальних витрат води ймовірністю перевищення $P=1\%$ до інших ймовірностей

Район	Забезпеченість, %						
	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10	25
Закарпаття	1,61	1,16	1,0	0,74	0,63	0,47	0,29
Карпати	1,63	1,17	1,0	0,72	0,61	0,43	0,25
Гірський Крим	1,70	1,20	1,0	0,70	0,57	0,39	0,18
Південь України. Степовий Крим (при $F < 100 \text{ км}^2$)	1,77	1,22	1,0	0,66	0,52	0,36	0,12
Південь України. Степовий Крим (при $F < 25 \text{ км}^2$)	2,0	1,32	1,0	0,54	0,34	0,21	0,06
Вся інша територія України (при $F = 25-100 \text{ км}^2$)	1,67	1,19	1,0	0,71	0,58	0,40	0,20

Те саме (при $F > 100 \text{ км}^2$)	1,65	1,18	1,0	0,72	0,60	0,42	0,24
--	------	------	-----	------	------	------	------

Параметр $q_{200} = 0,40$ визначаємо за картою (Дод. 6); показник степеня редукції n_3 визначаємо за картою (Дод. 7); перехідний коефіцієнт $\lambda_p = 0,72$ (табл. 7.8).

Коефіцієнт δ_3 для рівнинних річок приймаємо рівним одиниці.

Значення коефіцієнтів δ_i δ_f обчислені в попередньому прикладі.

Максимальна витрата дощового паводку 3%-ної забезпеченості р. Тур'я біля м. Ковеля

$$Q_{3\%} = 0,40 \cdot \left(\frac{200}{1480} \right)^{0,50} \cdot 0,77 \cdot 0,56 \cdot 0,72 \cdot 1480 = 68,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Шар паводку 3%-ної забезпеченості $h_{3\%} = h_{1\%} \cdot \lambda_p$.

Шар стоку 1%-ної забезпеченості визначаємо за картою (Додаток 8), який дорівнює 70 мм.

Об'єм дощового стоку:

$$W_{3\%} = 70 \cdot 0,72 \cdot 1480 \cdot 10^3 = 7,46 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

8. Побудова розрахункового гідрографа весняної повені або дощового паводка

Метою практичного заняття є навчитися будувати розрахунковий гідрограф весняної повені або дощового паводка.

Завдання. Побудувати розрахунковий гідрограф весняної повені або дощового паводка.

Методика виконання. Для врахування акумуляції води та визначення ступеню трансформації розрахункової максимальної витрати при проходженні паводка через водосховище необхідно мати не лише розрахункову максимальну витрату, а і розрахунковий гідрограф притоку до водосховища.

Розрахунковим називається такий гідрограф, який відповідає розрахунковій забезпеченості максимальної витрати та об'ємові.

Основними елементами розрахункового гідрографа є максимальна витрата, об'єм та загальна тривалість T і тривалість підйому t_n (рис. 8.1).

Чим більша трансформуюча ємність водосховища, тим більше значення має об'єм паводка і менше величина максимальної витрати і навпаки. В зливонебезпечних районах, на відносно невеликих водосховищах, розрахунковим може виявитись дощовий паводок з максимальною витратою, що перевищує максимальну витрату повені.

Для водосховищ великої ємності розрахунковим може бути гідрограф весняної повені з меншим максимумом, але з більшим об'ємом ніж дощовий паводок.

В сумнівних випадках необхідно виконати розрахунок трансформації і для весняної повені, і для дощових паводків.

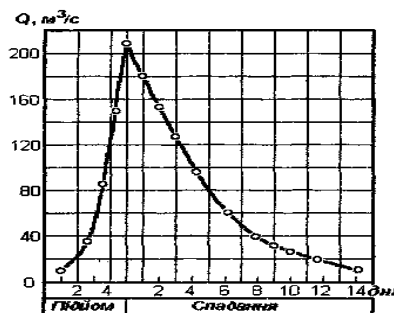


Рис.8. 1. Схематичний гідрограф повені

Існують такі **методи побудови** розрахункових гідрографів:

- при схематизації за геометричними фігурами та рівняннями;
- за моделями реальних паводків та повеней;
- генетичний метод.

У розрахунково-графічній роботі розглядаємо перший метод – *схематизація за геометричними фігурами та рівняннями*. Цим методом виконується побудова гідрографа для невивчених середніх і малих річок, які характеризуються одновіршинною гостроконечною хвилею паводка або повені: схематизація за простими фігурами – трикутником та трапецією (метод Д.І.Кочерина), за параболічними кривими (метод Д.Л. Соколовського), у вигляді степеневого рівняння (Г.О. Алексєєв).

Гідрограф будуюмо за методом Г.О. Алексєєва у вигляді

$$\text{степеневого рівняння: } y = 10^{\frac{-a(1-x)^2}{x}}, \quad (8.1)$$

$$\text{або у витратах } Q_t = Q_{\text{макс}} \cdot 10^{\frac{-a(1-x)^2}{x}}, \quad (8.2)$$

де y – ординати розрахункового гідрографа, виражені в частках максимальної миттєвої витрати води $Q_{p\%}$ для паводків і максимальної середньодобової витрати $\bar{Q}_{p\%}$ для повеней; x – абсциси розрахункового гідрографа, виражені в частках від умовної тривалості підйому паводку t_n ; a – параметр, який залежить від коефіцієнта форми гідрографа λ .

Максимальна середньодобова витрата визначається за формулою:

$$\bar{Q}_{p\%} = \frac{Q_{p\%}}{K_\tau}, \quad (8.3)$$

де $Q_{p\%}$ – миттєва максимальна витрата повені; K_τ – перехідний коефіцієнт, що визначається за таблицею 8.1.

Коефіцієнт несиметричності K_s визначається за даними річки – аналога (додаток 3, підручника).

Координати розрахункового гідрографа визначають за формулами:

$$Q_i = y \cdot Q_{p\%}, \quad (8.4)$$

$$t_i = x \cdot t_n, \quad (8.5)$$

де t_n – тривалість підйому паводка (повені), що визначається за формулою:

$$t_n = \frac{0,0116 \cdot \lambda \cdot h_p}{q_{p\%}}, \quad (8.6)$$

де h_p – шар максимального стоку, мм; $q_{p\%}$ – розрахунковий модуль середньодобової витрати води весняної повені або максимальної миттєвої витрати води дощового паводку, м³/с·км², який визначають

$$q_{3\%} = \frac{\bar{Q}_{3\%}}{A}, \quad (8.7)$$

Для річок з площею водозбору менше 200 км², на яких тривалість підйому дощового паводку не перевищує однієї доби, розрахункову тривалість підйому визначають за формулою:

$$t_n = \frac{\beta' \cdot \lambda \cdot h_{p\%}}{q_{p\%}}, \quad (8.8)$$

де β' – коефіцієнт величина якого приймається 0,28 при розрахунках тривалості підйому в годинах і 16,7 – при розрахунках у хвиликах.

Таблиця 8.1

Величини перехідних коефіцієнтів K_r

Природна зона	Площі водозборів, км ²										
	0,1	0,5	1	5	10	50	100	500	1000	2000	5000
Тундра та північна частина лісової зони (тайга)	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,15	1,05	1	1	1
Південна частина лісової зони (змішані та листяні ліси)	3,7	3,0	2,7	2,3	2,1	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
Лісостепова	4,4	3,6	3,3	2,7	2,5	2,0	1,9	1,4	1,3	1,15	1,0
Степова	5,5	4,4	4,0	3,0	2,8	2,1	1,9	1,4	1,3	1,15	1,0
Посушливих степів та напівпустель	9,5	7,0	6,0	4,3	3,7	2,6	2,0	1,5	1,4	1,3	1,2

Приклад. 1. Порівнюємо максимальні витрати весняної повені і паводка ($Q_{3\%}$), яка з них більша для такої і будуємо розрахунковий гідрограф весняної повені або паводку. Якщо максимальні витрати весняної повені і паводка ($Q_{3\%}$) приблизно однакові, то порівнюються об'єми стоку весняної повені або паводку і, який з них більший, то і для такого будують розрахунковий гідрограф.

2. Приймаємо коефіцієнт несиметричності гідрографа $K_s=0,29-0,31$, якому відповідає $\lambda=0,6-0,7$ (таблиця 8.2) - (вибирають одне значення K_s).

3. Середньодобову максимальну витрату 3%-ї забезпеченості визначають за формулою (8.3).

4. Обчислення координат розрахункового гідрографа ведемо в таблиці 8.3.

Таблиця 8.2

Відносні координати розрахункового гідрографа для різних значень коефіцієнта несиметричності гідрографа K_s

X_i	Значення U_i для різних значень K_s															
	0,19	0,23	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0.1	0.023	0.002	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.2	0.21	0.091	0.034	0.011	0.003	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
0.3	0.45	0.29	0.16	0.099	0.05	0.022	0.009	0.003	0.001	0	-	-	-	-	-	-
0.4	0.66	0.51	0.39	0.28	0.19	0.12	0.076	0.043	0.024	0.013	0.3	0.001	0	0	-	-
0.5	0.78	0.69	0.59	0.43	0.4	0.31	0.24	0.18	0.13	0.088	0.039	0.025	0.009	0.003	0	0
0.6	0.88	0.82	0.75	0.69	0.61	0.54	0.47	0.36	0.33	0.27	0.18	0.14	0.088	0.049	0.017	0.04
0.7	0.91	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.69	0.64	0.59	0.54	0.43	0.39	0.3	0.22	0.14	0.062
0.8	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.84	0.81	0.78	0.72	0.69	0.62	0.55	0.46	0.34
0.9	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.93	0.92	0.9	0.88	0.84	0.79
1.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.91	0.93	0.92	0.92	0.9	0.87	0.82
1.2	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.92	0.91	0.89	0.87	0.85	0.8	0.78	0.73	0.68	0.6	0.49
1.3	0.97	0.95	0.93	0.91	0.88	0.85	0.82	0.78	0.75	0.71	0.64	0.6	0.52	0.44	0.34	0.22
1.4	0.95	0.92	0.89	0.85	0.81	0.77	0.72	0.67	0.62	0.57	0.48	0.43	0.34	0.26	0.17	0.084
1.5	0.92	0.88	0.84	0.79	0.74	0.68	0.62	0.56	0.5	0.44	0.34	0.29	0.21	0.14	0.075	0.027
1.6	0.9	0.85	0.79	0.73	0.66	0.59	0.52	0.46	0.39	0.34	0.28	0.18	0.12	0.071	0.03	0.008
1.7	0.87	0.81	0.74	0.65	0.59	0.51	0.44	0.37	0.3	0.25	0.15	0.12	0.066	0.034	0.011	0.002
1.8	0.84	0.77	0.69	0.6	0.52	0.44	0.36	0.28	0.23	0.18	0.1	0.072	0.035	0.015	0.004	0
1.9	0.81	0.73	0.64	0.55	0.4	0.37	0.29	0.23	0.17	0.13	0.063	0.043	0.018	0.007	0.001	-
2.0	0.78	0.69	0.59	0.49	0.4	0.31	0.24	0.18	0.13	0.088	0.039	0.025	0.009	0.003	0	-
2.2	0.73	0.61	0.5	0.4	0.3	0.22	0.15	0.1	0.066	0.042	0.014	0.008	0	0	-	-
2.4	0.67	0.54	0.42	0.32	0.22	0.15	0.096	0.058	0.034	0.019	0.005	0.002	-	-	-	-
2.6	0.62	0.48	0.35	0.25	0.16	0.1	0.066	0.032	0.017	0.008	0.002	0.001	-	-	-	-
2.8	0.57	0.42	0.29	0.19	0.162	0.068	0.036	0.018	0.008	0.004	0.001	0	-	-	-	-
3.0	0.53	0.37	0.24	0.15	0.036	0.045	0.022	0.01	0.004	0.002	0	-	-	-	-	-
3.5	0.43	0.26	0.15	0.079	0.037	0.016	0.006	0.002	0	0	-	-	-	-	-	-
4.0	0.34	0.19	0.092	0.041	0.016	0.005	0.002	0	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	0.21	0.091	0.034	0.011	0.003	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.0	0.13	0.014	0.012	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.0	0.052	0.01	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
λ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.6

Таблиця 8.3

Обчислення координат розрахункового гідрографа

Відносні координати		Абсолютні координати	
x	y	$t_i = \chi \cdot t_n$	$Q_i = y \cdot \overline{Q}_{p\%}$
0,1	0	1,4	0,0
0,2	0,003	2,8	0,4
0,3	0,05	4,2	5,9
0,4	0,19	5,6	22,4
0,5	0,4	7,0	47,2
0,6	0,61	8,3	72,0
0,7	0,79	9,7	93,2
0,8	0,91	11,1	107
0,9	0,98	12,5	116
1,0	1,0	13,9	118
1,2	0,94	16,7	111
1,4	0,81	19,5	95,6
1,6	0,66	22,2	77,9
1,8	0,52	25,0	61,4
2,0	0,4	25,8	47,2
2,2	0,3	30,6	35,4
2,4	0,22	33,4	30,0
2,6	0,16	36,1	18,9
2,8	0,12	38,9	14,2
3,0	0,086	41,7	10,1
3,5	0,037	48,6	4,4
4,0	0,016	55,6	1,9
5,0	0,003	69,5	0,4

1. Тривалість підйому паводку (повені) визначають за формулами (8.6),
$$h_{3\%} = h_{1\%} \cdot \lambda_p. \quad (8.9)$$

2. Будемо розрахунковий гідрограф весняної повені або паводку на річці Тур'я біля м. Ковель 3%-ї забезпеченості (рис. 8.2).

Дано: Максимальна миттєва витрата весняної повені р. Тур'я біля м. Ковеля $Q_{3\%} = 136 \text{ м}^3/\text{с}$; площа водозбору $F = 1480 \text{ км}^2$.

Приймемо коефіцієнт несиметричності гідрографа $K_S = 0,31$, якому відповідає $\lambda = 0,7$ (Табл. 8.2). Середньодобову максимальну витрату 3%-ної забезпеченості визначимо за формулою (8.3). Перехідний коефіцієнт $k_t = 1,15$ (табл. 8.1).

Отже, $Q_{3\%} = 136 / 1,15 = 118 \text{ м}^3/\text{с}$.

Відносні координати розрахункового гідрографа визначимо за таблицею 8.3, а абсолютні – за формулами (8.1-8.2).

Розрахунковий модуль середньодобової витрати

$$q_{3\%} = 118/1480 = 0,08 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2.$$

Тривалість підйому повені визначимо за формулою (8.6)

$$t_n = \frac{0,0116 \cdot 0,7 \cdot 136}{0,08} = 13,9 \text{ діб}.$$

Обчислення координат розрахункового гідрографа наведено в таблиці 8.3, а сам гідрограф наведений на рис.2.

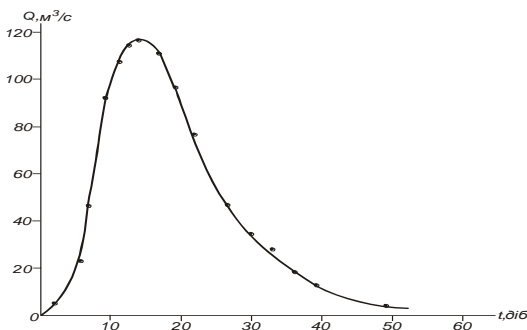


Рис.8.2. Розрахунковий гідрограф повені на р. Тур'я біля м. Ковеля
 $p=3\%$

9. Побудова топографічних характеристик водосховища

Мета практичного заняття полягає у побудові топографічних характеристик водосховища.

Завдання. Розрахувати та побудувати топографічні характеристики ложа водосховища для р. Турія біля м. Ковель.

Методика виконання. Комплекс розрахунків пов'язаний з визначенням елементів балансу припливу і споживання у водосховищах, що проектуються називаються *водогосподарськими розрахунками*.

До топографічних характеристик водосховища відносять залежності площі водного дзеркала (ω), об'єму води (V) і середньої глибини ($h_{\text{сер}}$) від рівня води в водосховищі (H).

Крива площі водного дзеркала ($\omega = f(H)$) будується за даними обробки топографічної карти з горизонталями, при цьому площі визначають планіметруванням на топографічних картах ділянок обмежених горизонталями і лінією поздовжньої осі підпірної греблі, що замикає горизонталі. Вимірювання проводять для всіх горизонталей до найвищого значення підпору. Поверхню води при цьому вважають горизонтальною.

Основою для побудови таких топографічних характеристик є крупно-масштабні карти ложа водосховища.

Для побудови кривих $V = f(H)$ і $h_{\text{сеп}} = f(H)$ розраховують об'єми і середні глибини при різних рівнях умовного наповнення водосховища.

Часткові об'єми розраховують за формулою

$$\Delta V = 0,5(\omega_i + \omega_{i+1})\Delta H, \quad (9.1)$$

або точніше

$$\Delta V = 1/3(\sqrt{\omega_i \omega_{i+1}} + \omega_{i+1})\Delta H, \quad (9.2)$$

де ω_i і ω_{i+1} – площі дзеркала, обмежені сусідніми горизонталями; ΔH – різниця відміток горизонталей H_i і H_{i+1} .

Складаючи часткові об'єми шарів, починаючи від нульового наповнення, отримуємо об'єми води в водосховищі для кожної відмітки.

Середня глибина водосховища – це відношення об'єму водосховища до площі водного дзеркала при даному рівні

$$h_{\text{сеп}} = V / \omega, \quad (9.3)$$

За цими значеннями будується залежність $h = f(H)$.

Площу літоралі (прибережної мілини глибиною до 2 м.) знаходять як різницю площ водного дзеркала при рівнях, що відрізняються на 2 м. *Відносну площу*, або *критерій літоралі*, визначають як відношення площі літоралі (ω_L) до загальної площі водного дзеркала (ω_H) при відповідному рівні води в водосховищі

$$L_{\omega} = \omega_L / \omega_H , \quad (9.4)$$

Приклад. Дано: Відмітки та площі чаші водосховища на р. Турія біля м. Ковеля.

Необхідно: Побудувати топографічні характеристики водосховища.

Таблиця 9.1

Обчислення координат топографічних характеристик

Відмітка, м	Площа дзеркала, м ²		Різниця відміток, м	Об'єм, м ³		Середня глибина, м	Літораль	
	ω_i	$\omega_{сф}$		ΔV	V		Площа ω , м ²	Критерій $L \omega$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
116	0,0	0,18	2,0	0,47	0,00	0,00		
118	0,4	0,52	2,0	1,04	0,47	1,34	0,35	1,00
120	0,7	0,90	2,0	1,51	1,51	2,16	0,35	0,50
122	1,1	1,38	2,0	1,80	3,31	3,01	0,50	0,36
124	1,7	1,92	2,0	2,76	6,07	3,68	0,55	0,33
126	2,2	2,50	2,0	3,84	9,91	4,50	0,55	0,25
128	2,8	3,15	2,0	5,00	14,91	5,32	0,60	0,21
130	3,5	3,90	2,0	6,30	21,21	6,06	0,70	0,20
132	4,3	4,70	2,0	7,80	29,01	6,74	0,80	0,19
134	5,1	5,70	2,0	9,40	38,41	7,53	0,80	0,16
136	6,3		2,0	11,40	49,81	7,91	1,20	0,19

Обчислення координат топографічних характеристик наведено в таблиці 9.1 (графи 1, 2). Вони беруться із вихідних даних, згідно з варіантом. При їхньому розрахунку використані формули (9.1-9.4).

Так, 4 графа – це різниця відміток у м, відповідно графі 1; 5 графа – формула 9.2; 6 графа – послідовне перехресне додавання об'ємів, починаючи з нижньої точки водосховища 6 і 5 граф; 7 графа – формула 9.3; 8 графа – це площа літоралі (літораль – це зона узбережжя дна водосховища (прибережного мілководдя), яка осушується під час відпливу, може бути менше 2,0 м) вона визначається за кривою $\omega = f(H)$, як різниця площ водної поверхні при заданій відмітці рівня води (H_i) і при відмітці нижче 1,5-2,0 м; 9 графа – у долях від загальної площі дзеркала при заданому рівні обчислюється за формулою 9.4.

При відмітках поверхні води $H_i \leq 2,0$ м критерій площі літоралі (L_{ω}) дорівнює 1. З підвищенням рівнів, L_{ω} швидко зменшується.

Топографічні характеристики чаші водосховища будуються на міліметровому аркуші формату А-3. Нижня частина кривих

будується в збільшеному масштабі, для можливості достовірного зняття топографічних характеристик при невеликих рівнях (нижні 4-5 рівнів).

Топографічні характеристики водосховища на р. Турія біля м. Ковеля із нанесеними на них нормативними рівнями, представлені на рис. 9.1.

Примітка. При побудові графіків необхідно дотримуватись таких масштабів:

для рівнів води – в 1 см – 1-2 м;

для об'ємів – в 1 см – 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 млн. м³;

для площ – в 1 см – 0,5, 1, 5, 10 млн. м²;

для середніх глибин – в 1 см – 0,5, 1, 2, 5 м.

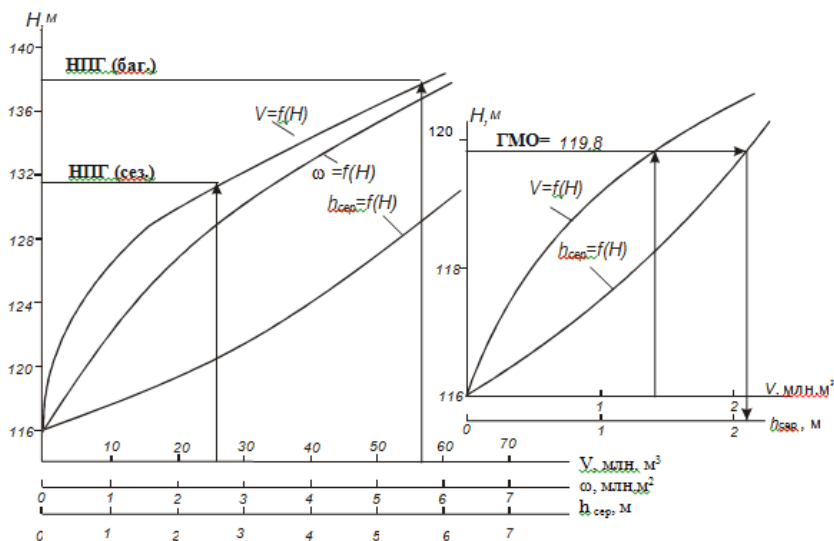


Рис. 9.1. Топографічні характеристики водосховища

10. Розрахунок мертвого об'єму водосховища

Мета практичного заняття полягає у розрахунку мертвого об'єму водосховища.

Завдання. Розрахувати та показати на топографічних характеристиках водосховища для р. Турія біля м. Ковель мертвий об'єм водосховища.

Методика виконання. Водосховища вносять значні зміни в гідравлічний режим водотоків, зменшують ухил водної поверхні та швидкість течії води, збільшують глибину потоку. За рахунок зменшення швидкості потоку завислі і донні наноси відкладаються в водосховищі. В процесі замулення водосховища утворюється тіло замулення.

Процес відкладення наносів і формування тіла замулення залежить від цілого ряду факторів: розміру і конфігурації водосховища, стійкості берегів, режиму стоку, механічного складу відкладів, режиму наповнення і спрацьовування водосховища.

Найнижче у водосховищі розташовується *мертвий об'єм* ($V_{мо}$), якому відповідає відмітка *горизонту мертвого об'єму* (ГМО). Нижче цієї відмітки водосховище ніколи не спрацьовується. При його розрахунках необхідно враховувати відповідні вимоги.

а) Загальні вимоги:

- акумуляція наносів за період експлуатації водосховища;
- відповідність санітарно-технічним умовам, що не допускають утворення мілководь (середня глибина повинна бути не меншою за 1,5-2,5 м., в залежності від зони розташування водосховища).

б) Спеціальні вимоги, які пред'являються в залежності від призначення водосховища:

- підтримання судноплавних глибин;
- забезпечення мінімального допустимого напору на турбінах ГЕС;
- забезпечення відмітки ГМО командного положення над зрошувальними площами при безмашинному зрошенні;
- забезпечення роботи насосних станцій при механічній подачі води;
- підтримання відповідних умов для риборозведення;

Враховуючи ці вимоги, визначення відмітки РМО встановлюється внаслідок техніко-економічного аналізу кількох варіантів, тому що практично всі водосховища розв'язують (вирішують) не одну, а декілька задач.

Розрахунок замулення водосховища

Для розрахунку замулення водосховища необхідно знати середню багаторічну величину мутності річкового потоку в розрахунковому створі та норму річного стоку.

Коли є дані про середню багаторічну мутність води ρ_0 , г/м³ (каламутність – це кількість твердих мінеральних часток в одиниці об'єму води), то вага завислих наносів у середній за водністю рік визначається за формулою

$$P_0 = \rho_0 Q_0 t, \quad (10.1)$$

де P_0 – вага завислих наносів, що транспортуються річкою на протязі року, в тонах; ρ_0 – середня багаторічна каламутність річкового потоку, г/м³ (беремо з вихідних даних, згідно варіанта); Q_0 – норма річного стоку, м³/с; t – кількість мільйонів секунд в році ($31,54 \cdot 10^6$).

Частина завислих наносів проходить транзитом через водосховище і тому вона не приймає участі в замуленні водосховища. Їхня частка, яка в основному залежить від механічного складу і ступеню *зарегульованості стоку* визначається за формулою:

$$\Delta = \varphi(1 - \alpha), \quad (10.2)$$

де φ – коефіцієнт крупності наносів, що враховує їхній механічний склад, становить: для піщаних ґрунтів – 0,10; для лесоподібних і легкосуглинистих – 0,30; для важкосуглинистих і глинистих – 0,40; α – *коефіцієнт зарегульованості стоку* запроєктованим водосховищем, який визначається за формулою:

$$\alpha = 1,30 q_{\text{нетто}} / Q_0, \quad (10.3)$$

де $q_{\text{нетто}}$ – корисне споживання, м³/с (беремо з вихідних даних); 1,30 – коефіцієнт, який наближено враховує втрати на випаровування і фільтрацію при експлуатації водосховища.

Крім завислих наносів, у водосховищі відкладаються і донні наноси. Їх враховують наближено як частину від кількості завислих наносів (для рівнинних річок $m = 0,001-0,1$; для гірських річок $m = 0,1-1,0$).

Отже, вага наносів, які відкладаються в водосховищі за рік його експлуатації становить:

$$P' = P_0 - \delta P_0 + m P_0 = P_0 (1 - \delta + m). \quad (10.4)$$

Крім мінеральних відкладів, в водосховищах відкладаються і органічні речовини, котрі утворюються внаслідок відмирання водних рослин і тваринних організмів. Кількість органічних відкладів (e) приймається в залежності від ступеню розвитку водної рослинності (при інтенсивному розвитку водної рослинності – 0,20-0,15; при середній інтенсивності – 0,15-0,10; при слабкій інтенсивності – 0,10-0,05).

З врахуванням органічних відкладів, вага наносів, що відкладалась в водосховищі за рік його експлуатації, становитиме:

$$P'' = P_0(1 - \delta + m)(1 + e'). \quad (10.5)$$

Об'єм замулення водосховища (W_n) за розрахунковий період експлуатації становить:

$$W_n = \frac{P_0(1 - \delta + m)(1 + e')}{\gamma} T, \quad (10.6)$$

де T – розрахунковий період роботи водосховища, в роках (з вихідних даних); γ – об'ємна вага наносів.

Об'ємна вага наносів визначається за аналогією з існуючими водосховищами, або за емпіричною формулою Н.Й.Дрозда:

$$\gamma = A/e' + CT + B, \quad (10.7)$$

де e' – частка органічних відкладів у відсотках; A, B, C – коефіцієнти, що залежать від характеру ґрунтів прилягаючої до водосховища водозбірної площі річки, визначаються за таблицею 10.1.

Таблиця 10.1

Значення параметрів A, B і C в залежності від типу ґрунтів

Ґрунти	A	B	C
Піщані	2,30	0,25	0,002
Глинисті	2,25	0,35	0,004
Пилуваті	2,00	0,45	0,007

У замуленні водосховища беруть також участь наноси, що утворюються внаслідок перероблення і розмивання берегів в процесі експлуатації водосховища. Об'єм цих наносів може досягати від 10 до 40% розрахованого об'єму наносів.

Кінцевий об'єм наносів, що акумулюється у водосховищі, становить:

$$W_n' = W_n + \Delta W_n, \quad (10.8)$$

де ΔW_n – об'єм наносів, що утворюються внаслідок розмивання берегів водосховища (20-40% від W_n).

Розрахований об'єм перевіряють за топографічними характеристиками на відповідність щодо санітарних – технічних вимог. Якщо при даному об'ємі задовольняються санітарно – технічні вимоги (середня глибина 1,5-2,5 м), то його приймають за розрахунковий мертвий об'єм водосховища і встановлюють ГМО за топографічними характеристиками. В протилежному випадку, за розрахунковий мертвий об'єм водосховища приймають об'єм, що відповідає середній глибині 1,5-2,5 м (в залежності від зони розташування водосховища).

Приклад. Дано: Норма річного стоку $Q_0 = 3,78 \text{ м}^3/\text{с}$; середня багаторічна каламутність $\rho = 210 \text{ г/м}^3$; середня глибина мертвого об'єму водосховища $h_{\text{сеп}} \geq 2,0 \text{ м}$; корисне споживання за рік при сезонному регулюванні стоку $q_{\text{нетто}} = 1,6 \text{ м}^3/\text{с}$; строк служби водосховища $T = 40$ років.

Необхідно: Обчислити мертвий об'єм та відмітку НПП для водосховища на р. Турія біля м. Ковеля.

Вагу завислих наносів, що транспортуються річкою у середній за водністю рік, обчислюємо за формулою (10.1)

$$P_0 = 210 \cdot 3,78 \cdot 31,54 = 25036 \text{ т.}$$

Частину завислих наносів, що проходять транзитом через водосховище, визначаємо за формулою (10.2).

Коефіцієнт зарегульованості стоку визначаємо за формулою 10.3

$$\alpha = \frac{1,30 \cdot 1,6}{3,78} = 0,55$$

Для лесоподібних і легкосуглинистих ґрунтів приймаємо коефіцієнт крупності наносів $\varphi = 0,30$.

Отже $\delta = 0,30 \cdot (1 - 0,55) = 0,1$.

Об'ємну вагу наносів визначимо за формулою (10.7)

$$\gamma = \frac{2,0}{15} + 0,07 \cdot 40 + 0,45 = 0,86 \text{ т/м}^3.$$

При інтенсивному розвитку рослинності приймаємо $e = 0,15$.

Об'єм наносів, що акумулюється у водосховищі, обчислюємо за формулою (10.6)

$$W_H = \frac{(1 - 0,14 + 0,01)(1 + 0,15) \cdot 25036}{0,86} \cdot 40 = 1,16 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Кінцевий об'єм наносів, із урахуванням наносів внаслідок перероблення і розмивання берегів (20%) становитиме

$$W'_H = 1,16 \cdot 10^6 + 0,2 \cdot 1,16 \cdot 10^6 = 1,40 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Використовуючи топографічні характеристики (Рис. 9.1), встановлюємо, що при розрахунковому об'ємі наносів середня глибина водосховища становитиме $h_{сер} = 2,2$ м, що задовольняє санітарно-технічним вимогам.

Отже, мертвий об'єм водосховища на р. Турія біля м. Ковеля становитиме

$$V_{мо} = 1,4 \text{ млн. м}^3, \text{ а відмітка ГМО} = 119,8 \text{ м.}$$

11. Розрахунок втрат води із водосховища

Мета практичного заняття полягає у розрахунку втрат води із водосховища.

Завдання. Розрахувати втрати води із водосховища для р. Турія біля м. Ковель.

Методика виконання. При розрахунках втрат води з водосховища, крім корисного споживання, необхідно враховувати втрати води, які будуть мати місце в процесі їх експлуатації. Втрати води з водосховища можуть бути на фільтрацію, випаровування та льодоутворення. Втрати на льодоутворення є тимчасовими (на період льодоставу), тому при наближених розрахунках не враховуються.

Втрати на фільтрацію. Втрати на фільтрацію в водосховищі відбуваються таким чином: через тіло греблі, під основами капітальних споруд, в обхід їх при сполученні з берегами, через ложе (дно і береги) водосховища, через нещільність затворів водоскидних споруд.

Найбільші втрати мають місце через ложе водосховища, якщо воно побудовано на водопроникних пухких ґрунтах, і особливо, в перший рік його експлуатації.

Величина цих втрат залежить від геологічних і гідрогеологічних умов в районі будівництва і приведена в табл.11.1, в % від середнього об'єму води в водосховищі.

Таблиця 11.1

Втрати на фільтрацію в залежності від гідрогеологічних умов

Річні	Місячні	Гідрогеологічні умови
5-10%	0,5-1,0%	добрі
10-15%	1,0-1,5%	середні
20-40%	2,0-3,0%	погані

Втрати на випаровування. Втрати на випаровування розраховуються як різниця між об'ємом випаровування з поверхні води та з поверхні суші.

$$Z = Z_e - H \cdot (1 - \delta_c), \quad (11.1)$$

де Z – шар втрат на випаровування за середній по водності рік; Z_e – шар випаровування з поверхні води, що визначається за картами ізоліній (додаток 10); H – шар опадів за середній по водності рік, що також визначається за картами ізоліній (додаток 11); δ_c – коефіцієнт стоку з поверхні суші, що приймається 0,35.

Для маловодного року шар втрат на випаровування обчислюється за формулою:

$$Z_p = Z_{100-p} - H_p (1 - \delta_c), \quad (11.2)$$

$$\text{де } Z_{100-p} = Z_0 K_{100-p}, \quad \text{а } H_p = H_0 K_p, \quad (11.3)$$

Значення модульних коефіцієнтів K_{100-p} і K_p визначаються з таблиць 11.2 і 11.3.

Таблиця 11.2

Модульні коефіцієнти біноміальної кривої забезпеченості при

$$C_v = 0,1; C_s = 2,0 C_v (K_{100-p})$$

P, %	1	3	5	10	20	25	50
K_{100-p}	1,25	1,20	1,17	1,13	1,08	1,07	1,00

Таблиця 11.3

Модульні коефіцієнти біноміальної кривої забезпеченості при

$$C_v = 0,2; C_s = 2,0 C_v (K_p)$$

P, %	99	97	95	90	80	75	50
K_p	0,59	0,66	0,70	0,75	0,83	0,86	0,99

При розрахунках сезонного регулювання стоку необхідно знати втрати на випаровування за кожний місяць. Для цього сумарний шар випаровування розподіляють по місяцях згідно таблиці 11.4.

Таблиця 11.4

Відносний розподіл розрахункового випаровування по місяцях

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Рік
%	0	0	-8	4	10	18	26	24	16	8	2	0	100%

Приклад. Дано: Координати центру водозбору р. Турія біля м. Ковеля: широта $51^{\circ}14'$, довгота $24^{\circ}42'$; гідрогеологічні умови – добрі.

Необхідно: Визначити втрати води із водосховища на випаровування і фільтрацію.

Середньобагаторічний шар втрат на випаровування обчислюємо за формулою (11.1).

Середньобагаторічний шар випаровування $z_B = 580$ мм. (Дод. 10.)

Середньобагаторічний шар опадів $H = 600$ мм (Дод. 11.).

Коефіцієнт стоку для середніх умов $\alpha = 0,35$.

Середньобагаторічний шар втрат на випаровування

$$z_B = 580 - 600 (1 - 0,35) = 130 \text{ мм.}$$

Розрахунковий шар випаровування для маловодного року 80%-ної забезпеченості обчислюємо за формулою (11.2-11.3).

Користуючись таблицями 11.2 і 11.3 визначаємо

$$z_{20\%} = 580 \cdot 1,08 = 626 \text{ мм;}$$

$$H_{80\%} = 600 \cdot 0,83 = 498 \text{ мм.}$$

Розрахунковий шар випаровування

$$z_{80\%} = 626 - 498 (1 - 0,35) = 252 \text{ мм.}$$

Внутрішньорічний розподіл розрахункового випаровування (табл. 11.4) виконуємо згідно відносного його розподілу, наведеного в табл. 11.5.

Таблиця 11.5

Розподіл розрахункового випаровування за місяцями

Місяці	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сума
мм	-20,2	10,1	25,2	45,4	65,5	60,4	40,3	20,2	5,0	252

Втрати на фільтрацію в залежності від гідрогеологічних умов (табл. 11.1) приймаємо в процентах від об'єму водосховища.

Для добрих гідрогеологічних умов втрати на фільтрацію приймаємо рівними: за місяць – 1%, за рік – 12%.

12. Розрахунок сезонного регулювання стоку без врахування втрат води з водосховища

Мета практичного заняття полягає у розрахунку сезонного регулювання стоку без врахування втрат води з водосховища.

Завдання. Розрахувати сезонне регулювання стоку без врахування втрат води з водосховища для р. Турія біля м. Ковель.

Методика виконання. Сезонне регулювання стоку полягає у перерозподілі стоку води в річці в межах року, кінцевою метою якого є нагромадження повеневих надлишків води в водосховищі з наступним використанням цієї води в маловодні періоди року.

Сезонне регулювання стоку проводиться в тому випадку, коли сумарний приплив маловодного року більший за сумарне споживання ($W_p > \sum q$), а за окремі інтервали споживання перевищує приплив.

При сезонному регулюванні стоку вирішуються такі задачі:

- ✓ визначення корисного об'єму водосховища при заданому споживанні;
- ✓ визначення величини водовіддачі (корисного водоспоживання) при заданому об'ємі водосховища.

Існують графічні та аналітичні методи розрахунку. В даній роботі використовуємо аналітичний метод розрахунку.

Основна задача, це визначення корисного об'єму водосховища при заданому водоспоживанні.

При такому розрахунку визначають:

- корисний об'єм водосховища;
- момент його спорожнення (коли в водосховищі залишається лише мертвий об'єм);
- об'єми скидних витрат;
- повний об'єм водосховища;

■ розрахунок режиму роботи водосховища за двома крайніми варіантами експлуатації.

Розрахунок полягає в порівнянні об'ємів притоку і споживання. При цьому можуть бути такі випадки в роботі водосховища: однотактна, двотактна з залежними і незалежними тактами та багатотактна (рис. 12.1).

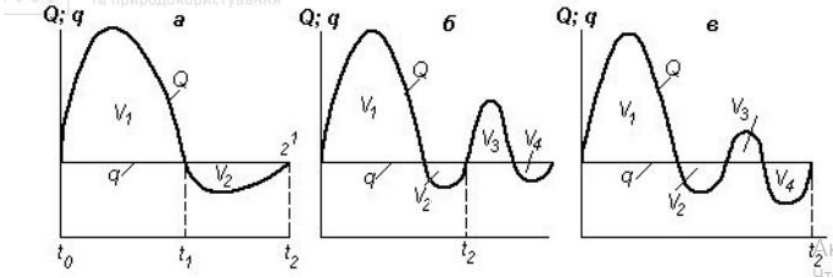


Рис. 12.1 Схема до визначення тактності водосховища

Однотактна робота водосховища

Робота водосховища буде однотактною тоді, коли впродовж одного року буде лише один період надлишків припливу над споживанням і один період нестач. За корисний об'єм водосховища приймають об'єм нестачі, а момент спорожнення до відмітки ГМО буде в кінці цієї нестачі.

При *однотактній роботі водосховища* корисний об'єм дорівнює сумі нестач: $V_k = V_2$ (рис. 12.1, а).

Двотактна робота з незалежними тактами

Якщо протягом року, або розрахункового періоду має місце два періоди надлишків припливу і два періоди нестач. При цьому кожний із надлишків буде більший за нестачу після цього надлишку. Корисний об'єм дорівнює об'єму більшої нестачі, а момент спорожнення буде в кінці цієї нестачі.

При *двотактній роботі водосховища з незалежними тактами* корисний об'єм дорівнює більшій із нестач: $V_k = V_2$ (рис. 12.1, б).

Двотактна робота з залежними тактами

Якщо впродовж року або розрахункового періоду має місце два періоди надлишків і два періоди нестач. При цьому один із надлишків буде менший за нестачу після цього надлишку. Тоді корисний об'єм водосховища дорівнює сумі нестач без меншого

надлишку, а момент спорожнення буде в кінці останньої недостачі. В цьому правилі є виняток - якщо розрахований корисний об'єм менший за абсолютною величиною за більшу недостачу, корисний об'єм приймають рівним цій недостачі.

При двотактній роботі водосховища з залежними тактами корисний об'єм дорівнює сумі недостач за різницею меншого надлишку: $V_k = V_2 + V_4 - V_3$ (рис. 12.1, в).

При багатотактній роботі водосховища корисний об'єм і момент спорожнення визначається, аналогічно двотактній роботі із залежними тактами.

В даній роботі необхідно виконати табличний розрахунок з врахуванням втрат за першим способом. Цей розрахунок проводять в два етапи:

- попередній розрахунок без врахування втрат;
- кінцевий розрахунок з врахуванням втрат на випаровування і фільтрацію.

Розрахунок водосховища сезонного регулювання стоку без врахування втрат проводимо в таблиці 12.1 в наступній послідовності: за приплив приймаються середньомісячні витрати маловодного року розрахункової забезпеченості, які за кожний місяць порівнюються з відповідною величиною споживання (порівняння ведеться в об'ємах).

Якщо приплив перевищує споживання - це *надлишки*, якщо навпаки – це *недостачі*.

Надлишки і недостачі, які слідує без перерви, об'єднують і встановлюють *тактність* роботи водосховища. Далі визначають корисний об'єм водосховища та режим його експлуатації.

Розрахунок режиму роботи водосховища ведуть за двома крайніми варіантами експлуатації:

- за першим варіантом наповнення проводять зразу після його спорожнення (розрахунок ведуть «ходом вперед», прибавляючи надлишки і віднімаючи недостачі. Коли сума перевищує корисний об'єм, то цей надлишок скидається);
- за другим – в більш пізніші строки, з таким розрахунком, щоб до початку межені воно було заповнене (розрахунок ведуть «ходом назад» прибавляючи недостачі і віднімаючи надлишки, якщо при цьому отримують від'ємну величину, то її скидають).

Таблицю 12.2 заповнюємо у наступній послідовності:

✓ у першу графу записуємо розрахункові інтервали – місяці. Їх можна записувати в будь-якому порядку, але зручніше розрахунки вести починаючи із початку повені;

✓ у графу 2 за приплив приймаються середньомісячні витрати маловодного року розрахункової забезпеченості (рівній забезпеченості регулювання стоку), які за кожний місяць порівнюються з відповідною величиною споживання (порівняння ведеться в об'ємах) – графа 3 (вихідні дані, приклад таблиці 12.1);

✓ об'єми припливу і споживання (графи 4 і 5) отримують множенням витрат на кількість секунд в місяці, котру приймають рівною $2,63 \cdot 10^3$ для всіх місяців;

✓ Якщо приплив перевищує споживання – це надлишки, якщо навпаки – це недостачі (графи 6 і 7), розраховують віднімаючи графу 4 від графи 5;

✓ графа 8 і 9 – це розрахунок за першим варіантом наповнення проводять зразу після його спорожнення (розрахунок ведуть «ходом вперед», прибавляючи надлишки і віднімаючи недостачі. Коли сума перевищує корисний об'єм, то цей надлишок скидається);

✓ графа 10 і 11 – це за другим варіантом експлуатації – в більш пізніші строки, з таким розрахунком, щоб до початку межені воно було заповнене (розрахунок ведуть «ходом назад» прибавляючи недостачі і віднімаючи надлишки, якщо при цьому отримують від'ємну величину, то її скидають).

Приклад. У даному випадку для р. Турія м. Ковель режим роботи водосховища одноктний. Корисний об'єм водосховища $V_k = 22,99$ млн. m^3 . Момент спорожнення водосховища відповідає кінцю XI місяця. В наступних графах розраховано режим роботи водосховища за двома крайніми варіантами.

Таблиця 12.1

Корисне споживання													
Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
m^3/c	0,40	0,40	2,40	2,40	2,40	1,60	1,60	2,40	2,40	2,40	0,40	0,40	1,60

Таблиця 12.2

Розрахунок сезонного регулювання стоку без врахування втрат води з водосховища на р. Турія біля м. Ковель (р=80%), мертвий об'єм 1,4.млн.м³

Розрахункові інтервали (місяці)	Витрати, м ³ /с		Об'єми, млнм ³		Приплив-споживання, млнм ³		І варіант експлуатації		ІІ варіант експлуатації	
	припливу Q	споживання q	припливу W	споживання Sq	надлишки +	недостаті -	V , млнм ³	R , млнм ³	V , млнм ³	R , млнм ³
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
III	8,2	2,4	21,57	6,31	15,26		2,66		0	14,51
IV	10,2	2,4	26,83	6,31	20,52		17,92		0,75	
V	3,07	2,4	8,03	6,31	1,72		22,99	15,45	21,27	
VI	0,73	1,6	1,92	4,21		2,29	22,99	1,72	22,99	
VII	0,27	1,6	0,71	4,21		3,5	20,7		20,7	
VIII	0,18	2,4	0,47	6,31		5,84	17,2		17,2	
IX	0,23	2,4	0,6	6,31		5,71	11,36		11,36	
X	0,32	2,4	0,84	6,31		5,47	5,65		5,65	
XI	0,33	0,4	0,87	1,05		0,18	0,18		0,8	
XII	0,52	0,4	1,37	1,05	0,32		0		0	
I	0,83	0,4	2,18	1,05	1,13		0,32		0	0,32
II	0,86	0,4	2,26	1,05	1,21		1,45		0	1,13
							2,66		0	1,21
Сума			67,65	50,48	40,16	22,99		17,17		17,17
Різниця			17,17	17,17						

13. Розрахунок сезонного регулювання стоку із врахуванням втрат води з водосховища

Мета практичного заняття полягає у розрахунку сезонного регулювання стоку із врахуванням втрат води з водосховища.

Завдання. Розрахувати сезонне регулювання стоку із врахуванням втрат води з водосховища для р. Турія біля м. Ковель.

Методика виконання. Отриманий у попередньому розрахунку корисний об'єм необхідно уточнити, враховуючи втрати води із водосховища на випаровування та фільтрацію (табл. 13.1.).

Розрахунок ведемо у такій послідовності. До об'ємів, отриманих при попередніх розрахунках (табл. 12.2, графи 8 або 10) додаємо величину мертвого об'єму і записуємо ці дані у графу 2. Розрахунковий об'єм (графа 3) визначається як півсума об'ємів на початок та кінець інтервалу. За топографічними характеристиками (рис. 9.1) за об'ємом визначаємо площу водного дзеркала і записуємо в графу 4. Графа 5 – розділ 11, табл. 11.5 – внутрішньорічний розподіл втрат на випаровування для маловодного року ($p=80\%$). Втрати на випаровування за кожний місяць визначаємо за формулою (13.1) – графа 6.

$$W_B = \frac{z \cdot \omega}{10^3}, \text{ млн.м}^3 \quad (13.1)$$

де z – розрахунковий шар випаровування за відповідний місяць, мм;
 ω – площа водного дзеркала водосховища, млн. м².

Втрати води на фільтрацію (графа 7) визначають у відсотках від розрахункового об'єму в залежності від гідрогеологічних умов (в даному випадку 1%). В графу 8 записуємо сумарні втрати. Прибавивши за кожен місяць об'єм втрат до об'єму корисного споживання, отримаємо споживання бруutto $\Sigma q_{\text{брутто}}$, значення якого записуємо у графу 9.

В подальшому розрахунки ведемо як і в попередньому випадку без врахування втрат. У графу 10 записуємо об'єм припливу (W) з попереднього розділу (табл.12.2, графа 4). Отриманий корисний об'єм водосховища із врахуванням втрат прийнято називати *робочим об'ємом* (V_p).

Робочий і корисний об'єм (V_K) повинні відрізнятися між собою не більше, ніж на 5%. Порівняння проводять за такою формулою

$$\Delta V = \frac{V_P - V_K}{V_K} \cdot 100\% \quad (13.2)$$

Якщо вказані об'єми відрізняються більш ніж, на 5%, розрахунки необхідно повторити, взявши за вихідні величини об'ємів води у водосховищі значення, отримані у першому наближенні. Якщо і при наступному наближенні вказане розходження перевищуватиме 5%, то розрахунок повторюють знову.

Повний об'єм водосховища дорівнює сумі робочого і мертвого об'ємів ($V_{нов} = V_P + V_{мо}$). За цим об'ємом, користуючись кривою $V = f(H)$ (рис. 9.1) знаходять відмітку нормального підпірного горизонту ($НПГ_{сез}$).

Приклад. У нашому випадку робочий об'єм становить 24,37 млн. м³, а розходження

$$\Delta V = 24,37 - 22,99 / 22,99 \cdot 100 = 6,0 \%$$

Отже, необхідно виконати розрахунок у другому наближенні (табл. 13.2.).

У другому наближенні робочий об'єм $V_P = 24,42$ млн. м³, а розходження $\Delta V = 0,2 \%$.

Отже, за робочий об'єм водосховища приймаємо $V_P = 24,42$ млн. м³.

Повний об'єм водосховища сезонного регулювання стоку

$$V_{нов} = V_P + V_{м.о.} = 24,42 + 1,4 = 25,82 \text{ млн. м}^3.$$

За топографічними характеристиками (рис. 9.1) визначаємо відмітку $НПГ_{сез} = 131,2$ м.

Таблиця 13.1

Табличний розрахунок сезонного регулювання стоку із врахуванням втрат (перше наближення).

Розрахункова забезпеченість регулювання $P=80\%$, мертвий об'єм 1,4 млн. м³

Місяці	Об'єм водосховища, млн.м ³	Розрахунковий об'єм, млн.м ³	Площа водного дзеркала, млн.м ²	Розрахункове випаровування, мм	Втрати, млн.м ³			Споживання бруто, млн.м ³	Об'єм припливу W, млн.м ³	(W-S _{г бруто}), млн.м ³		І варіант експлуатації	
					на випаровування	на фільтрацію	разом			надлишки +	недостачі -	V, млн.м ³	R, млн.м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
III	4,06	11,69	2,00	-20,20	-0,04	0,12	0,08	6,39	21,57	15,18		2,48	
IV	19,32	21,86	3,50	10,10	0,04	0,22	0,25	6,56	26,83	20,27		17,66	
V	24,39	24,39	3,90	25,20	0,10	0,24	0,34	6,65	8,03	1,38		24,37	13,56
VI	24,39	23,24	3,80	45,40	0,17	0,23	0,40	4,61	1,92		2,69	24,37	1,38
VII	22,10	20,35	3,45	65,50	0,23	0,20	0,43	4,64	0,71		3,93	21,68	
VIII	18,60	15,68	2,30	60,40	0,14	0,16	0,30	6,61	0,47		6,14	17,75	
IX	12,76	9,90	1,90	40,30	0,08	0,10	0,17	6,48	0,60		5,88	11,61	
X	7,05	4,32	1,10	20,20	0,02	0,04	0,06	6,37	0,84		5,53	5,73	
XI	1,58	1,49	0,52	5,00	0,00	0,02	0,02	1,07	0,87		0,20	0,20	
XII	1,40	1,56	0,53	0,00	0,00	0,02	0,02	1,07	1,37	0,20		0,00	
I	1,72	2,28	0,84	0,00	0,00	0,02	0,02	1,07	2,18	1,11		0,20	
II	2,85	3,46	1,04	0,00	0,00	0,04	0,04	1,09	2,26	1,17		1,31	
	4,06											2,48	
Сума										39,31	24,37		14,94
Різниця										14,94			

Таблиця 13.2

Табличний розрахунок сезонного регулювання стоку із врахуванням втрат за першим способом (друге наближення). Розрахункова забезпеченість регулювання $P=80\%$, мертвий об'єм $1,4 \text{ млн.м}^3$

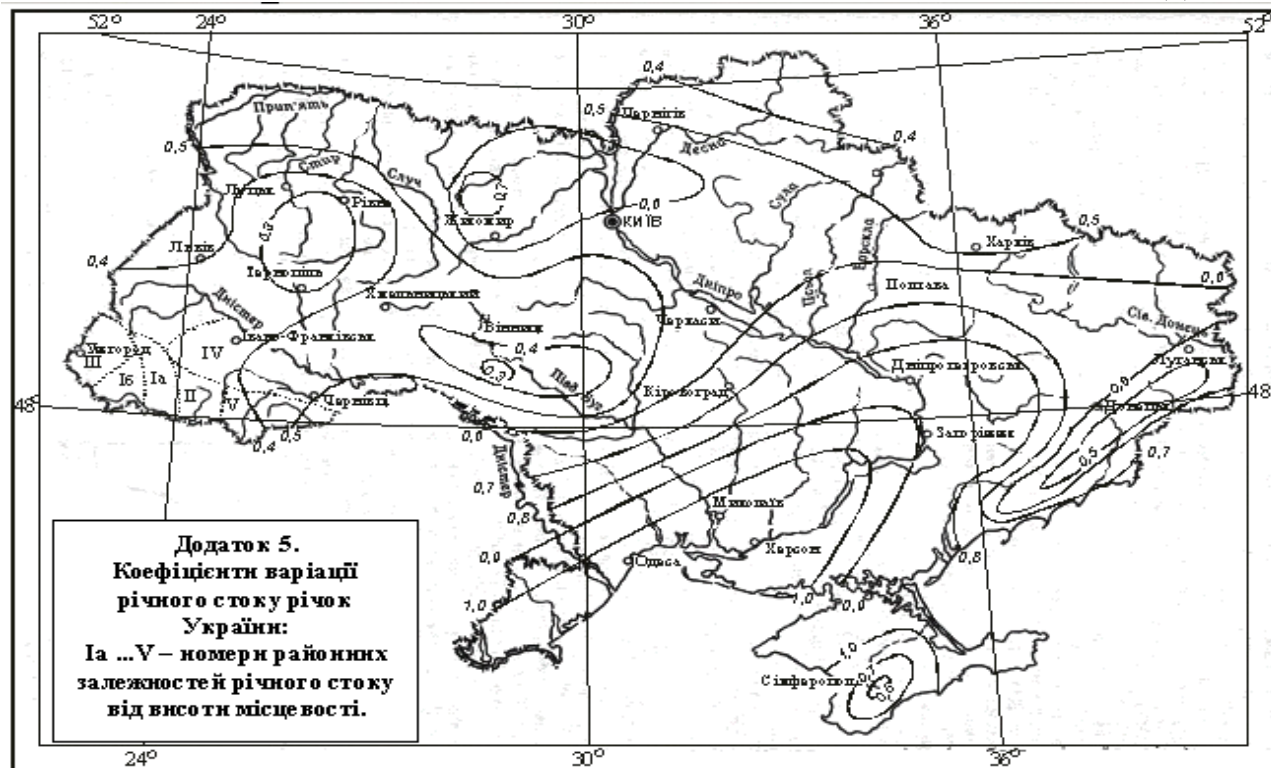
Місяці	Об'єм водосховища, млн.м^3	Розрахунковий об'єм, млн.м^3	Площа водного дзеркала, млн.м^2	Розрахункове випаровування, мм	Втрати, млн.м^3			Споживання бруто, млн.м^3	Об'єм припливу W , млн.м^3	$(W-S_{q \text{ бруто}})$, млн.м^3		І варіант експлуатації	
					на випаровування	на фільтрацію	разом			надлишки	недостачі	V , млн.м^3	R , млн.м^3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
III	3,88	11,47	1,98	-20,20	-0,04	0,12	0,08	6,39	21,57	15,18		2,47	13,49 1,35
IV	19,06	22,42	3,65	10,10	0,04	0,22	0,26	6,57	26,83	20,26		17,65	
V	25,77	25,77	4,30	25,20	0,11	0,26	0,37	6,68	8,03	1,35		24,42	
VI	25,77	24,78	4,12	45,40	0,19	0,25	0,43	4,64	1,92		2,72	24,42	
VII	23,08	21,12	3,48	65,50	0,23	0,21	0,44	4,65	0,71		3,94		
VIII	19,15	16,08	2,35	60,40	0,14	0,16	0,30	6,61	0,47		6,14		
IX	13,01	10,07	1,92	40,30	0,08	0,10	0,18	6,49	0,60		5,89		
X	7,13	4,36	1,12	20,20	0,02	0,04	0,06	6,37	0,84		5,53		
XI	1,60	1,50	0,52	5,00	0,00	0,02	0,02	1,07	0,87		0,20		
XII	1,40	1,50	0,52	0,00	0,00	0,02	0,02	1,07	1,37	0,20		0,00	
I	1,60	2,16	0,82	0,00	0,00	0,02	0,02	1,07	2,18	1,11		0,20	
II	2,71 3,88	3,30	1,00	0,00	0,00	0,03	0,03	1,08	2,26	1,16		1,31 2,47	
Сума										39,26	24,42		14,84
Різниця										14,84			

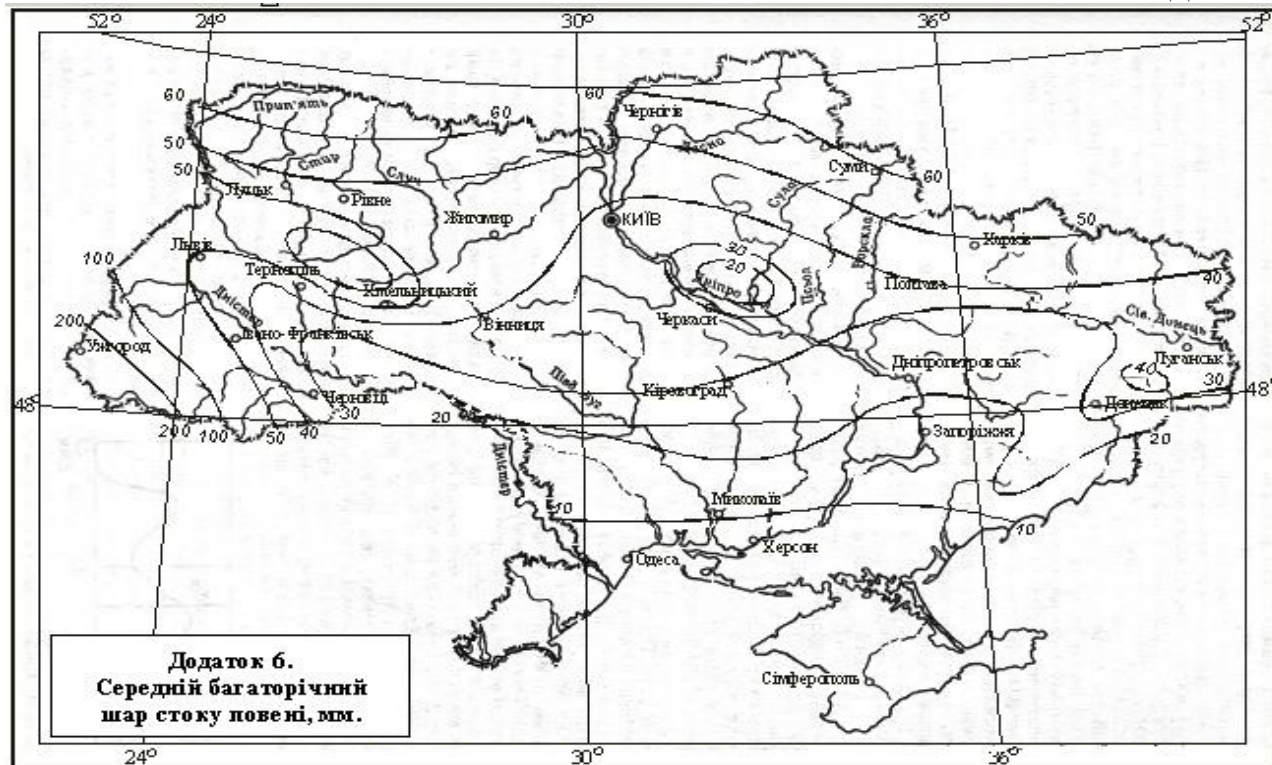
ДОДАТКИ

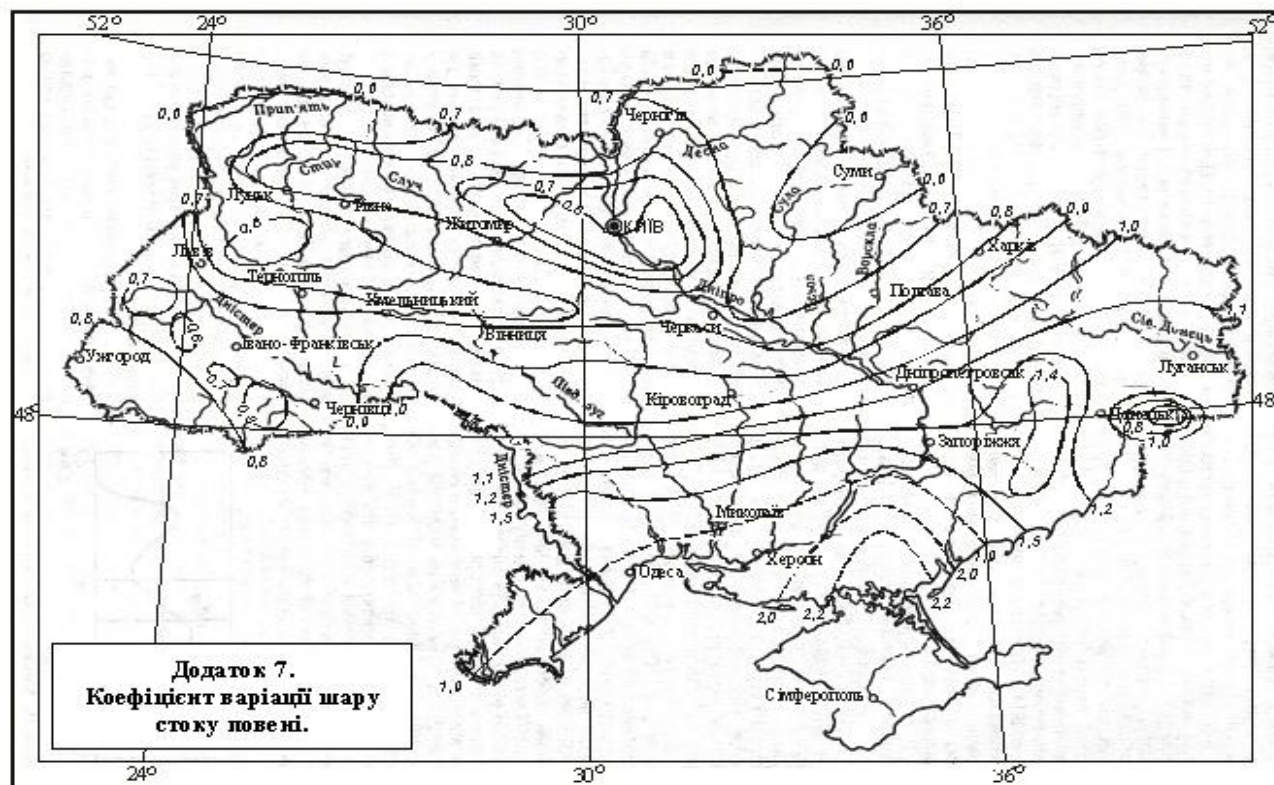
Додаток 1

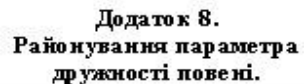
Нормовані відхилення від середнього значення ординат біноміальної кривої

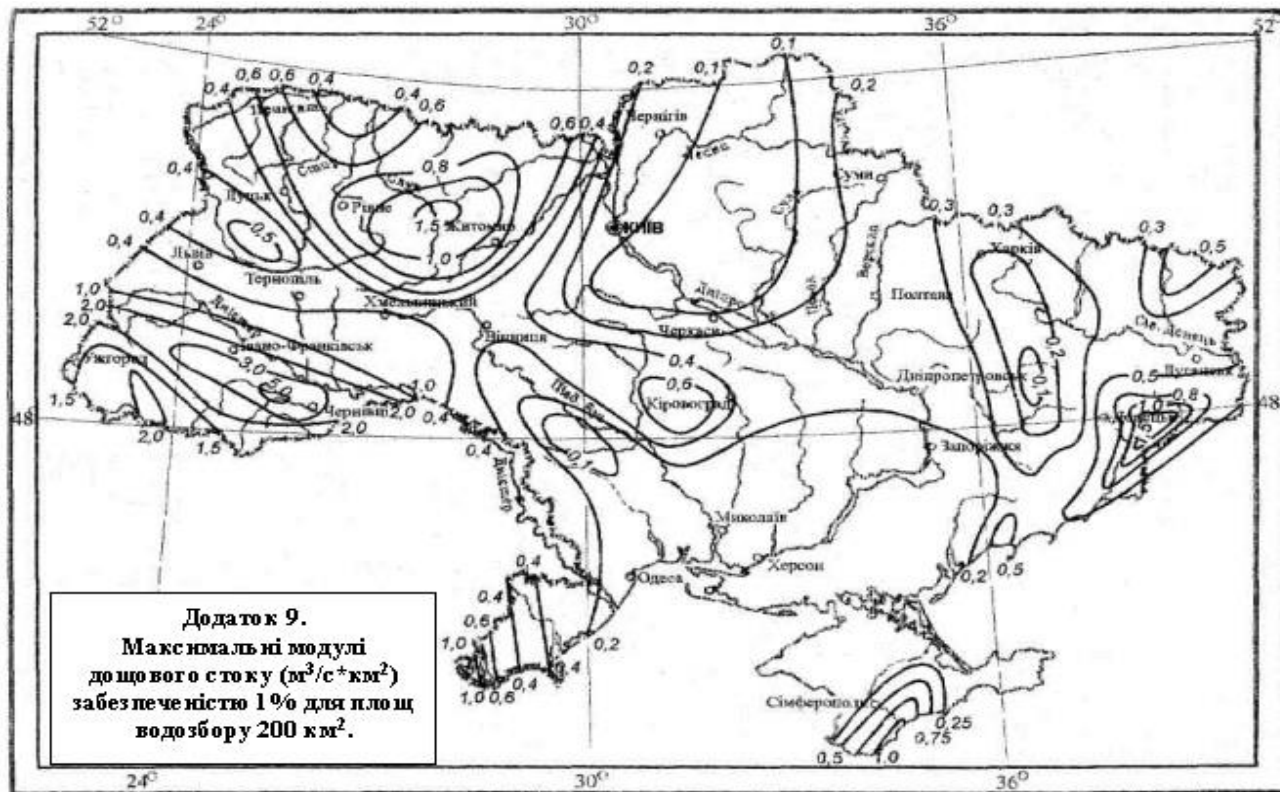
C _s	Нормовані відхилення $\Phi(P, C_s)$ забезпеченістю P%									Φ _{5%} - Φ _{95%}	Коефіцієнт асиметрії
	1	5	30	50	70	80	90	95	99		
0,00	2,33	1,64	0,52	0,00	-0,52	-0,84	-1,28	-1,64	-2,33	3,28	0,00
0,10	2,40	1,67	0,51	-0,02	-0,53	-0,85	-1,27	-1,61	-2,25	3,28	0,03
0,30	2,54	1,72	0,48	-0,05	-0,56	-0,85	-1,24	-1,55	-2,10	3,27	0,08
0,50	2,68	1,77	0,46	-0,08	-0,58	-0,85	-1,22	-1,49	-1,96	3,26	0,14
0,70	2,82	1,82	0,43	-0,12	-0,60	-0,85	-1,18	-1,42	-1,81	3,24	0,20
0,90	2,96	1,86	0,40	-0,15	-0,61	-0,85	-1,15	-1,35	-1,66	3,21	0,25
1,00	3,02	1,88	0,38	-0,16	-0,62	-0,85	-1,13	-1,32	-1,59	3,20	0,28
1,20	3,15	1,91	0,35	-0,19	-0,63	-0,84	-1,08	-1,24	-1,45	3,16	0,34
1,40	3,27	1,94	0,31	-0,22	-0,64	-0,83	-1,04	-1,17	-1,32	3,12	0,39
1,60	3,39	1,96	0,28	-0,25	-0,64	-0,81	-0,99	-1,10	-1,20	3,07	0,45
1,80	3,50	1,98	0,24	-0,28	-0,64	-0,80	-0,94	-1,02	-1,09	3,01	0,51
2,00	3,60	2,00	0,20	-0,31	-0,64	-0,78	-0,90	-0,95	-0,99	2,95	0,57
2,2	3,68	2,02	0,16	-0,33	-0,64	-0,75	-0,842	-0,882	-0,905	2,89	0,62
2,4	3,78	2,00	0,12	-0,35	-0,62	-0,72	-0,792	-0,820	-0,832	2,82	0,67
2,6	3,86	2,00	0,085	-0,37	-0,61	-0,70	-0,746	-0,763	-0,769	2,76	0,72
2,8	3,96	2,00	0,057	-0,39	-0,60	-0,67	-0,703	-0,711	-0,714	2,71	0,76
3,0	4,05	1,97	0,027	-0,40	-0,59	-0,64	-0,661	-0,665	-0,667	2,64	0,80
3,4	4,18	1,94	-0,036	-0,41	-0,55	-0,58	-0,587	-0,588	-0,588	2,53	0,86
3,8	4,29	1,90	-0,095	-0,42	-0,51	-0,52	-0,526	-0,526	-0,526	2,43	0,91
4,2	4,39	1,88	-0,13	-0,41	-0,47	-0,475	-0,476	-0,476	-0,476	2,36	0,94
4,6	4,46	1,84	-0,17	-0,40	-0,432	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	2,28	0,97
5,0	4,54	1,78	-0,20	-0,380	-0,399	-0,400	-0,400	-0,400	-0,400	2,18	0,98

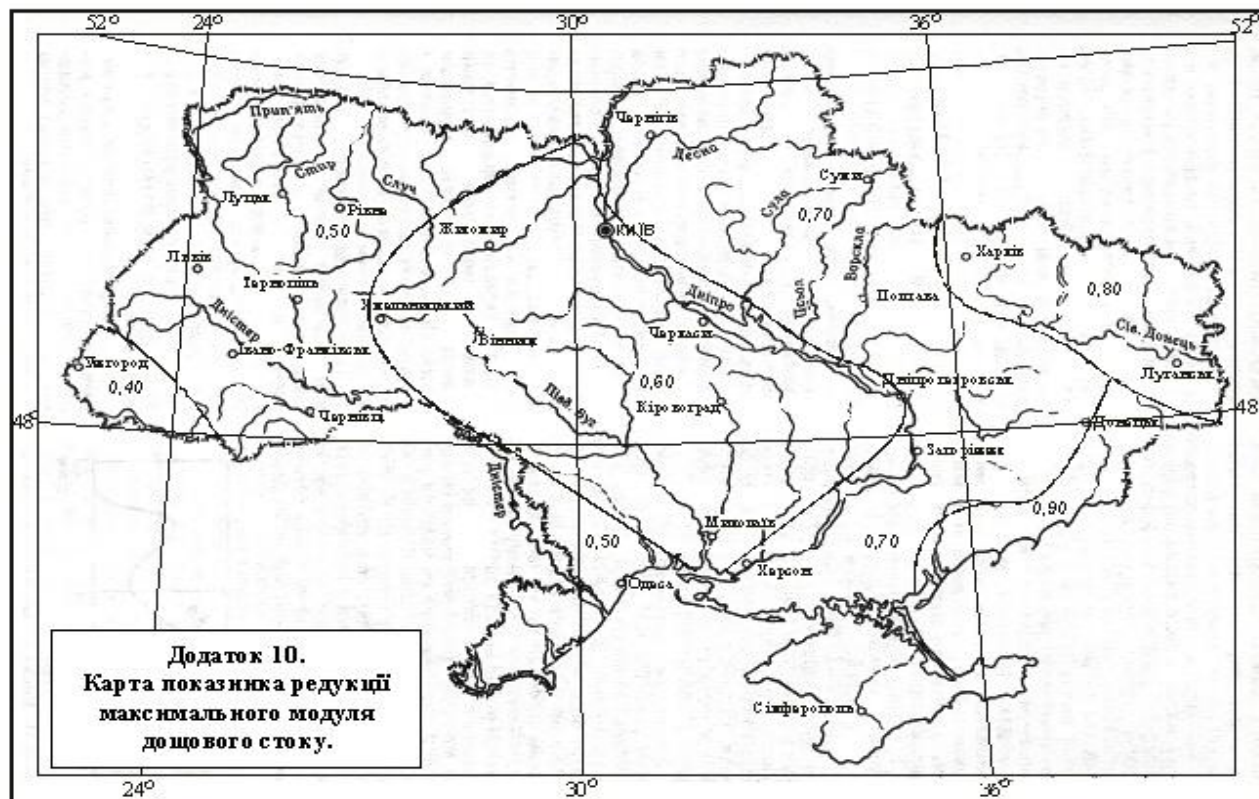


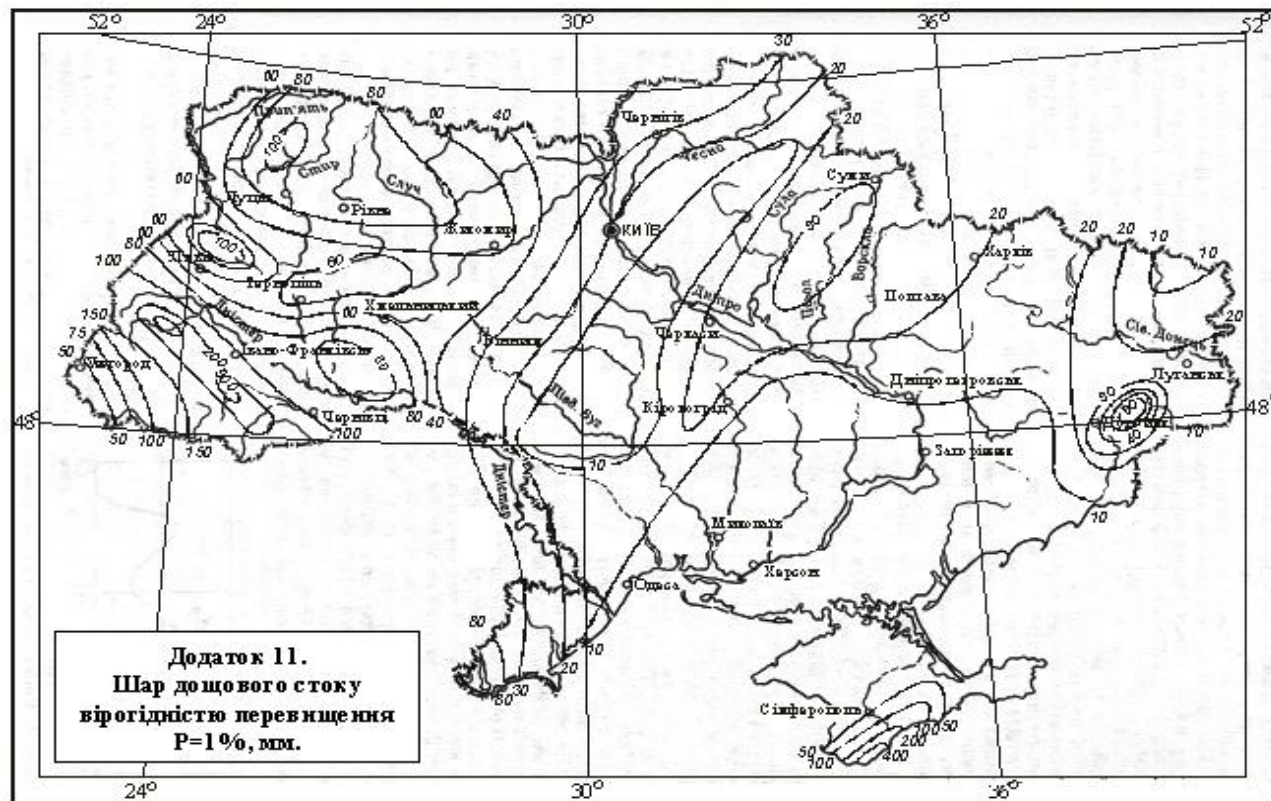










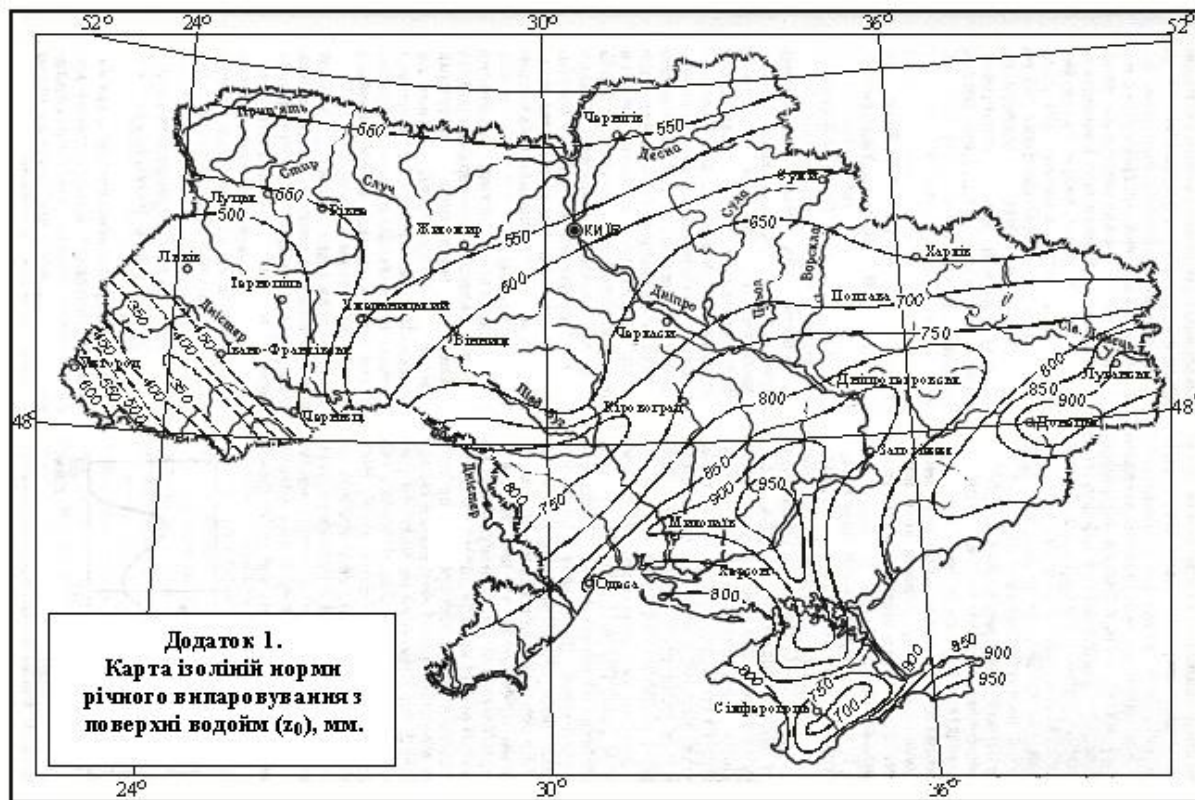


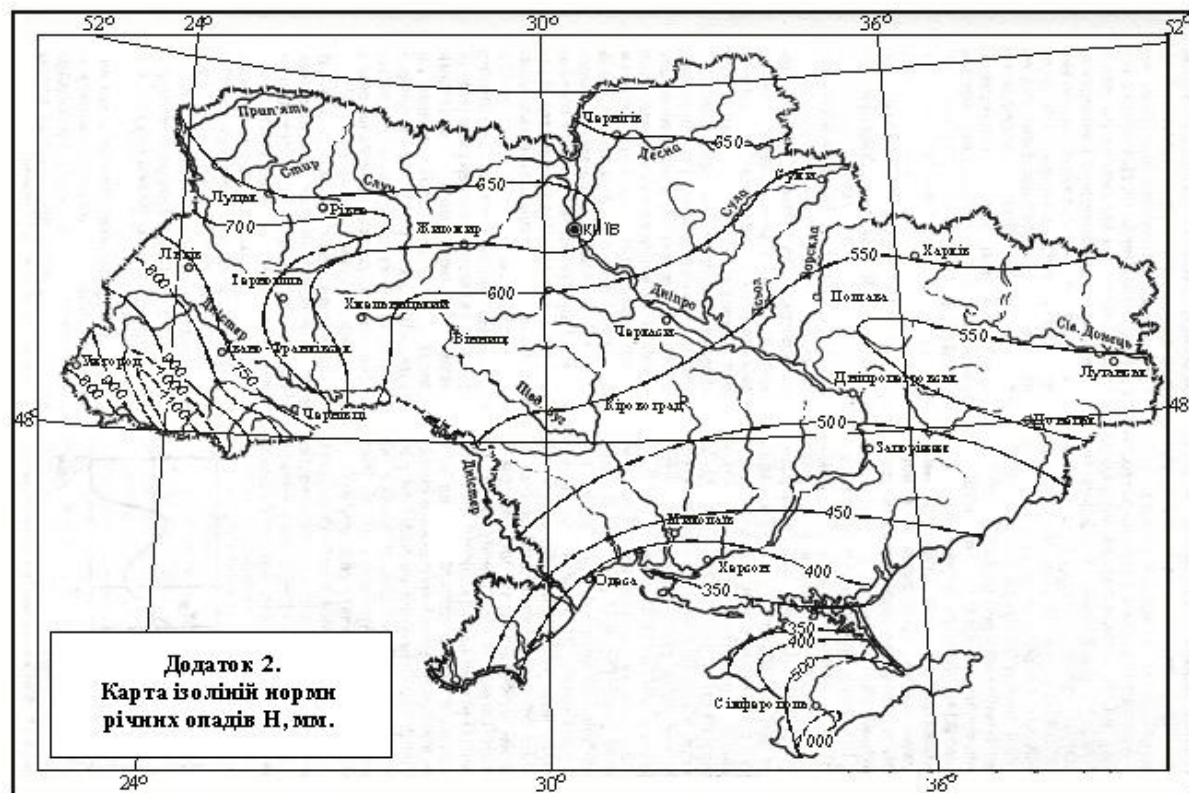
Ординати кривих трипараметричного гамма-розподілу

P%	Коефіцієнт варіації C_v								
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5
<i>1. $C_s = 1,5C_v$</i>									
0,01	1,40	2,38	3,55	4,88	6,38	7,19	8,92	10,8	11,8
0,05	1,35	2,20	3,18	4,31	5,58	6,26	7,67	9,22	10,1
0,1	1,33	2,11	3,02	4,06	5,22	5,84	7,18	8,61	9,38
0,5	1,27	1,90	2,61	3,41	4,31	4,80	5,87	7,04	7,67
1	1,24	1,79	2,42	3,11	3,89	4,30	5,21	6,24	6,78
5	1,17	1,53	1,92	2,34	2,80	3,03	3,55	4,12	4,44
10	1,13	1,40	1,68	1,97	2,26	2,41	2,71	3,00	3,13
20	1,08	1,25	1,40	1,54	1,67	1,72	1,80	1,83	1,83
30	1,05	1,14	1,21	1,27	1,28	1,28	1,24	1,16	1,10
50	0,998	0,997	0,934	0,862	0,756	0,690	0,541	0,388	0,320
60	0,972	0,903	0,812	0,695	0,553	0,475	0,324	0,193	0,142
70	0,946	0,826	0,690	0,538	0,376	0,298	0,168	0,079	0,051
75	0,931	0,785	0,630	0,460	0,297	0,223	0,111	0,045	0,027
80	0,915	0,741	0,562	0,384	0,223	0,156	0,067	0,022	0,012
90	0,874	0,632	0,409	0,222	0,092	0,053	0,014	0,003	0,001
95	0,840	0,548	0,305	0,130	0,038	0,018	0,003	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
97	0,819	0,498	0,247	0,088	0,020	0,008	0,001	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$
99	0,780	0,410	0,160	0,038	0,005	0,001	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$
<i>2. $C_s = 2,0C_v$</i>									
0,01	1,42	2,52	3,98	5,81	7,98	9,21	11,8	14,7	16,4
0,05	1,36	2,29	3,48	4,95	6,66	7,60	9,65	11,9	13,1
0,1	1,34	2,19	3,27	4,56	6,08	6,91	8,65	10,6	11,6
0,5	1,28	1,94	2,74	3,68	4,74	5,30	6,50	7,80	8,42
1	1,25	1,82	2,51	3,29	4,15	4,60	5,53	6,55	7,08
5	1,17	1,54	1,94	2,36	2,78	3,00	3,40	3,80	3,96
10	1,13	1,40	1,67	1,94	2,19	2,30	2,50	2,64	2,70
20	1,08	1,24	1,38	1,50	1,58	1,61	1,63	1,61	1,59
30	1,05	1,13	1,19	1,22	1,22	1,20	1,14	1,08	1,04
50	0,997	0,970	0,918	0,846	0,748	0,693	0,580	0,460	0,405
60	0,972	0,898	0,803	0,692	0,568	0,511	0,340	0,283	0,234
70	0,947	0,823	0,691	0,522	0,424	0,357	0,250	0,155	0,120
75	0,931	0,784	0,634	0,489	0,352	0,288	0,193	0,106	0,077
80	0,915	0,745	0,574	0,419	0,280	0,223	0,130	0,065	0,046
90	0,874	0,640	0,436	0,272	0,154	0,105	0,049	0,016	0,009
95	0,842	0,565	0,342	0,181	0,082	0,051	0,016	0,004	0,002
97	0,821	0,517	0,288	0,139	0,046	0,030	0,008	0,002	0,001
99	0,782	0,436	0,206	0,076	0,019	0,010	0,002	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$

Продовження додатку 9

P%	Коефіцієнт варіації Cv								
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5
3. $C_s = 2,5C_v$									
0,01	1,44	2,67	4,45	6,76	9,55	11,1	14,6	18,1	20,4
0,05	1,38	2,39	3,79	5,54	7,59	8,72	11,2	13,8	15,2
0,1	1,35	2,27	3,51	5,04	6,80	7,76	9,81	12,0	13,2
0,5	1,28	1,99	2,87	3,90	5,03	5,63	6,89	8,20	8,88
1	1,25	1,86	2,59	3,42	4,32	4,78	5,73	6,71	7,20
5	1,17	1,55	1,95	2,35	2,75	2,94	3,31	3,65	3,81
10	1,13	1,40	1,66	1,90	2,12	2,22	2,39	2,53	2,59
20	1,08	1,23	1,36	1,45	1,52	1,54	1,56	1,55	1,54
30	1,05	1,13	1,17	1,18	1,17	1,16	1,11	1,05	1,01
50	0,99	0,96	0,90	0,83	0,74	0,69	0,600	0,505	0,459
60	0,97	0,89	0,79	0,69	0,58	0,53	0,432	0,340	0,298
70	0,94	0,82	0,69	0,56	0,44	0,39	0,287	0,215	0,180
75	0,93	0,78	0,64	0,50	0,38	0,33	0,238	0,164	0,133
80	0,91	0,74	0,58	0,44	0,32	0,27	0,185	0,119	0,094
90	0,87	0,64	0,45	0,31	0,19	0,15	0,089	0,047	0,033
95	0,84	0,57	0,37	0,22	0,12	0,09	0,046	0,020	0,012
97	0,82	0,53	0,32	0,18	0,09	0,06	0,028	0,011	0,006
99	0,78	0,45	0,24	0,12	0,05	0,03	0,011	0,003	0,001
4. $C_s = 3,0C_v$									
0,01	1,46	2,83	4,94	7,70	11,0	12,8	16,8	21,2	23,5
0,05	1,39	2,49	4,09	6,08	8,40	9,65	12,4	15,2	16,8
0,1	1,36	2,35	3,74	5,44	7,37	8,41	10,6	13,0	14,2
0,5	1,28	2,03	2,97	4,06	5,24	5,84	7,10	8,41	9,07
1	1,25	1,90	2,66	3,50	4,41	4,87	5,79	6,74	7,21
5	1,17	1,55	1,95	2,34	2,70	2,88	3,22	3,52	3,66
10	1,13	1,40	1,65	1,87	2,06	2,15	2,30	2,42	2,47
20	1,08	1,23	1,34	1,42	1,47	1,49	1,50	1,49	1,48
30	1,05	1,12	1,15	1,16	1,14	1,13	1,08	1,03	0,997
50	0,99	0,95	0,89	0,82	0,74	0,69	0,614	0,531	0,491
60	0,97	0,89	0,79	0,69	0,59	0,54	0,459	0,377	0,339
70	0,94	0,82	0,69	0,57	0,47	0,42	0,333	0,257	0,224
75	0,93	0,78	0,64	0,52	0,41	0,35	0,277	0,206	0,176
80	0,91	0,74	0,59	0,46	0,35	0,30	0,224	0,160	0,133
90	0,87	0,65	0,47	0,34	0,23	0,19	0,126	0,078	0,061
95	0,84	0,58	0,40	0,26	0,16	0,12	0,076	0,042	0,030
97	0,82	0,54	0,35	0,22	0,13	0,09	0,054	0,027	0,018
99	0,78	0,48	0,28	0,15	0,08	0,05	0,027	0,011	0,007





Питання гарантованого рівня знань

Загальна гідрологія

1. Роль води у природі. Поняття про гідросферу. Основні властивості води. Водні ресурси Землі.
2. Предмет вивчення гідрології.
3. Методи гідрології та зв'язок з іншими науками.
4. Основні задачі гідрології.
5. Короткі відомості з історії розвитку гідрології.
6. Кругообіг води в природі. Водний баланс земної кулі та України. Внутрішньоматериковий вологообіг. Водний баланс річкових басейнів. Зв'язок теплового і водного балансів суходолу.
7. Атмосферні опади, їх види та класифікація, методи. Вимірювання опадів. Розрахункові характеристики опадів. Визначення середньої кількості опадів для басейну річки.
8. Випаровування та його види. Сумарне випаровування. Вимірювання і розрахунок випаровування.
9. Поняття про річку, гідрографічну та річкову мережу, річковий басейн.
10. Основні характеристики річок і річкових басейнів.
11. Основні руслові елементи річки.
12. Основні закономірності Фарга. Поперечний та поздовжній перерізи русла.
13. Річковий басейн та характеристики річкових водозборів.
14. Живлення річок та його види.
15. Фази водного режиму річок.
16. Типові гідрографи стоку. Розчленування гідрографів.
17. Фактори річкового стоку.

Гідрометрія

18. Річний хід рівнів води в Україні.
19. Водний кадастр. Поняття про рівні води.
20. Водомірний пост. Характеристика різних видів гідрологічних постів.
21. Задача промірних робіт.
22. Прилади та обладнання промірних робіт.
23. Методи проведення промірних робіт.
24. Обробка промірних робіт.

25. Поняття про миттєву та місцеву швидкість. Характер розподілу швидкості в потоці.

26. Методи вимірювання швидкостей течії води.

27. Гідрометричні поплавки.

28. Гідрометричні трубки.

29. Гідрометричні вертушки.

30. Типи, будова та принцип дії гідрометричної вертушки.

31. Теорія гідрометричної вертушки.

32. Тарування гідрометричної вертушки.

33. Способи вимірювання швидкості гідрометричною вертушкою.

34. Поняття про витрату води.

35. Вимірювання витрат води.

36. Побудова кривих витрат води.

Інженерна гідрологія

37. Мета та види гідрологічних розрахунків.

38. Основні джерела інформації про гідрологічний режим річок.

39. Основні розрахункові схеми при визначенні гідрологічних характеристик.

40. Норма річного стоку та її розрахунки.

41. Поняття про криві розподілу стоку.

42. Криві забезпеченості.

43. Поняття про внутрішньорічний розподіл стоку та метод реального року.

44. Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку методом компоновки сезонів.

45. Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку при коротких рядах спостереження.

46. Розрахунок внутрішньорічного розподілу стоку при відсутності даних спостереження.

47. Поняття про максимальний стік. Схема формування поверхневого стоку.

48. Генетичне формування стоку.

49. Основні фактори максимального стоку.

50. Розрахунки максимальних витрат води.

51. Поняття про мінімальний стік.

52. Фактори мінімального стоку.

53. Методи розрахунку мінімального стоку.

54. Необхідність та види регулювання стоку.
55. Водогосподарські розрахунки.
56. Поняття та методи розрахунків багаторічного регулювання стоку.
57. Розрахунок сезонної ємності водосховища.
58. Визначення багаторічної ємності водосховища за першим та другим способом С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля.
59. Трансформація повеней та паводків водосховищем спрощеним методом
60. Трансформація повеней та паводків водосховищем детальний метод.

Рекомендована та базова література

1. Гідрометрія: практикум : навчальний посібник / Д. С. Косяк, В. С. Холоденко, О. І. Галік, О. П. Будз. Рівне : НУВГП, 2018. 254 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/11563/>
2. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Издание третье переработанное и дополненное. Ленинград : Гидрометеиздат, 1972. 448 с.
3. Сливка П. Д., Новосад Я. О., Будз О. П. Гідрологія та регулювання стоку : навчальний посібник, Рівне : УДУВГП, 2003. 287 с.
4. Сливка П. Д., Будз О. П. Водогосподарські розрахунки : навч. посіб. / П. Д. Сливка, О. П. Будз. Рівне : НУВГП, 2010. 78 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1648/>
5. Будз О. П. Гідрологія: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1842/>
6. Литовченко О. Ф. Інженерна гідрологія та регулювання стоку. Київ : Вища школа, 1999. 360 с.
7. Лучшева А. А. Практическая гидрометрия. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 423 с.
8. ДБН В 2.4-8:2014. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. Мінрегіон розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. К., 2014. 102 с.

Допоміжна

1. Конспект лекцій.
2. Определение расчетных гидрологических характеристик.

СНиП 2.01.14-83. К., Стройиздат, 1985. 36 с.

3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 448с.

4. Водний кодекс України від 06.06.1995 р.

5. Зміни і доповнення до Водного кодексу України, що

6. внесені Законом України від 21.09.2000, № 1990-110.

7. Малі річки України: довідник / За ред. Яцик А. В., Бишовець Л. Б., Богатов Є. О. та ін. К. : Урожай, 1991. 296 с.

8. Яцик А. В. Водогосподарська екологія: у 4-х томах, 7 кн. К. : Генеза, 2004. – Т. 2, кн. 3 - 4. – 384 с.

9. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Стрельца Б.И. К. : Урожай, 1987. 304 с.

10.Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Изд. 4-е. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 448 с.

11.Железняков Г. В. Теория гидрометрии. Л. : Гидрометеиздат, 1976. 343 с.

12. Железняков Г. В. Гидрология и гидрометрия. М. : Высшая школа, 1981. 364 с.